This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

**Über dieses Buch**

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

**Nutzungsrichtlinien**

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

**Über Google Buchsuche**

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

711
O4

UC-NRLF
B 3 878 786

BIOLOGY
LIBRARY

# PFLANZENPHYSIOLOGISCHE

# VERSUCHE,

FÜR DIE

SCHULE ZUSAMMENGESTELLT

VON

Dr. WALTER OELS,

OBERLEHRER IN LÖWENBERG I. SCHL.

MIT 77 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1893

# ANKÜNDIGUNG.

Während es heute kaum noch einen Lehrer der Physik oc Chemie geben wird, der diese Fächer ohne experimentelle Begründu der Lehrsätze vorträgt, läfst der zoologische und botanische Unt richt in Bezug auf die Physiologie noch viel zu wünschen übrig.

Die „pflanzenphysiologischen Versuche“ sind bestimn zu beweisen, dafs der Einführung einer experimentellen Behandlu des Pflanzenlebens keine gröfseren Schwierigkeiten entgegenstehen, a sie der physikalische und chemische Unterricht bereits überwunde hat. Die in dem Büchelchen befolgte Methode, die Ergebnisse de Pflanzenphysiologie in kurze Lehrsätze zusammenzufassen, zu dene die Versuche die Beweise liefern, dürfte übersichtlich und zweck mäfsig sein. Die meisten angeführten Versuche sind einfach und mi geringen Mitteln auszuführen; dafs auch einige kompliziertere auf genommen wurden, mufste der Vollständigkeit halber geschehen, un so einigermafsen die ganze allgemeine Pflanzenphysiologie zu umfassen Es ist daher das Büchelchen nicht nur geeignet, eine Ergänzung zu jedem Lehrbuche der Botanik zu bilden, sondern auch selbständig als kurzes Lehrbuch der Pflanzenphysiologie zu dienen. Aufser den Lehrern, welche pflanzenphysiologische Versuche in der Schule vorzunehmen wünschen, wird es daher auch Studierenden der Medizin und der Naturwissenschaften, sowie jedem, der die Grundsätze der modernen Pflanzenphysiologie und wie man zu denselben gekommen ist, kennen zu lernen wünscht, willkommen sein.

# PFLANZENPHYSIOLOGISCHE

# VERSUCHE,

FÜR DIE

## SCHULE ZUSAMMENGESTELLT.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

# PFLANZENPHYSIOLOGISCHE

# VERSUCHE,

FÜR DIE

SCHULE ZUSAMMENGESTELLT

VON

**Dr. WALTER OELS,**
Oberlehrer in Löwenberg i. Schl.

---

MIT 77 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

---

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1893.

Alle Rechte vorbehalten.

QK711
04
Biology
Library

# VORWORT.

Zum ersten Male wird hier der Versuch gemacht, in den Unterricht an höheren Schulen die Ergebnisse der pflanzenphysiologischen Forschung, die bisher fast ausschliefslich als Domäne der Universitäten gegolten haben, in gröfserem Umfang experimentell einzuführen. Über den aufserordentlichen Wert einer solchen Einführung, vorausgesetzt, dafs sie praktisch ist, dürften wenige Fachgenossen zweifelhaft sein. Denn die Rolle, welche in der anorganischen Natur Physik und Chemie übernehmen, nämlich die Veränderungen der Körper zu erklären, mufs in der organischen Welt die Pflanzenphysiologie erfüllen, da die Tierphysiologie noch weniger leicht zur Anschauung und zum Verständnis gebracht werden kann, auch in anderer Hinsicht bedeutende pädagogische Schwierigkeiten bietet.

Wenn ferner der botanische Unterricht, wie jeder naturwissenschaftliche, einen dreifachen Zweck verfolgt, nämlich die Entwickelung und Erweiterung des Anschauungsvermögens, die Erwerbung praktischer Kenntnisse und die Beförderung der allgemeinen Bildung ohne Rücksicht auf direkte Verwertbarkeit zum Nutzen des Menschen, so ist unzweifelhaft der letzte Zweck für höhere Lehranstalten der wichtigste. Eine einzige Pflanze vom Keim bis zum zerfallenden Greis zu verfolgen, ihr Verhalten den zahlreichen auf sie einwirkenden Kräften gegenüber zu beobachten, ist lehrreicher für die Erkenntnis der Pflanzenwelt und ihrer Bedeutung im Naturganzen als die äufserliche Betrachtung einer ganzen Anzahl von Pflanzenspezies und die Vergleichung ihrer mannigfachen, zum Teil recht unwesentlichen Unterschiede in Gröfse, Form und Farbe. Gerade diese Seite der Botanik ist

M342504

aber die auf Schulen bisher am meisten vernachlässigte; wie ich glaube, nur deshalb, weil die gangbaren botanischen Lehrbücher die Pflanzenphysiologie entweder nur theoretisch betrachten, oder, wenn experimentell, wie z. B. der weitverbreitete Leitfaden von Vogel, Müllenhoff und Kienitz-Gerloff, nicht ausreichend.

Die im vorliegenden Büchelchen besprochenen Versuche erfordern seitens des Lehrers durchaus keine gröfsere Vorarbeit als die chemischen und physikalischen; sie gelingen bei einiger Sorgfalt ebenso gut, regen den Unterricht aufserordentlich an und nehmen von der Unterrichtszeit im allgemeinen sehr wenig in Anspruch, da es in den meisten Fällen genügt, die Einleitung des Versuches zu zeigen, den Verlauf kurz zu erläutern und den Erfolg vorzuführen.

Die Schwierigkeiten der Beschaffung von Pflanzenmaterial und Apparaten, die bisher manchen zurückgeschreckt haben mögen, sind, wie die nachstehende Zusammenstellung zeigen wird, durchaus nicht unüberwindlich, vielmehr sind die Kosten den auf physikalische und chemische Apparate verwendeten in keiner Weise zu vergleichen, wenn man sich auf das Notwendige beschränkt. Sorgfältig gearbeitete Thermostaten, Klinostaten und Auxanometer kann der Lehrer recht gut entbehren. Die an jeder höheren Schule vorhandenen chemischen und physikalischen Apparate helfen in den meisten Fällen aus. Für den vorliegenden Zweck mufsten selbstverständlich viele kompliziertere Experimente, so wichtig sie sonst erscheinen mögen, weggelassen, andere in elementarer Weise vereinfacht werden, doch werden immerhin die wichtigsten allgemeinen Erscheinungen des Pflanzenlebens zur Anschauung gebracht.

Die Hauptsache beim Unterricht ist die rechtzeitige Einleitung von Keimungs- und Wachstumsversuchen, welche zu Demonstrationen und weiterer Verwendung unbedingt erforderlich sind und nicht von Stunde zu Stunde ins Werk gesetzt werden können. Ein genauer Plan ist daher für das Semester zu entwerfen und das Untersuchungsmaterial — Samen, Pflanzen, Töpfe, Erde — ist zeitig zu beschaffen.

Ein Semester besonders für die Anstellung dieser Versuche zu verwenden, hält der Verfasser zwar für wünschenswert, jedoch durchaus nicht für unbedingt erforderlich. Im allgemeinen wird

für das Verständnis der Experimente der Bildungsgrad eines Sekundaners vorausgesetzt, doch werden viele, weder chemische, noch physikalische Vorkenntnisse erfordernde — Gewebespannung, heliotropische und geotropische Krümmungen, Wurzeldruck, Verdunstung, Stärkenachweis, Ringelung, Wachstum im Dunkeln, Winden — schon in Tertia, ja sogar in Quarta mit Vorteil vorgenommen werden können. Es empfiehlt sich bei der ersten Einführung experimenteller Pflanzenphysiologie nicht der Reihe nach die angegebenen Versuche vorführen zu wollen, was auch schwer fallen dürfte, sondern die Reihenfolge nach Jahreszeit, Pflanzenmaterial und Standpunkt der Klasse einzurichten, ferner sich zunächst auf eine Anzahl der wichtigsten und am leichtesten ausführbaren zu beschränken. Als solche würde ich die unter Nr. 1, 8, 11, 13, 16, 19, 20, 21, 27, 33, 39, 42, 43, 45, 48, 56, 59, 62, 68, 72 a, 74, 75, 77, 78, 81, 85, 86, 91, 95, 96, 98, 102, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 115, 116, 120, 121, 122 angeführten Versuche empfehlen.

Jede höhere Lehranstalt sollte danach streben, einen, wenn auch noch so bescheidenen botanischen Schulgarten in unmittelbarer Nähe der Anstalt zu besitzen. Die Forderung erscheint gröfser als sie ist. Eine kleine Ecke des ohnehin vorhandenen Schul- oder Turnplatzes reicht aus, eine ganze Anzahl von Experimenten im Freien vorzunehmen. Man braucht nur einen Weinstock, einige Exemplare von Tropaeolum, Helianthus annuus, Cucurbita Pepo — auch für anatomische Demonstrationen zweckmässig! — Phaseolus multiflorus, einen Busch von Sambucus nigra zu ziehen, eine Wassertonne mit Elodea und Spirogyra aufzustellen, und der botanische Garten ist, wenigstens für die pflanzenphysiologische Seite, wenn nicht ausreichend, so doch schon in dieser einfachsten Form von hohem Wert.

In der vorliegenden Arbeit wurden benutzt: Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, Leipzig 1882; Detmer, Das pflanzenphysiologische Praktikum, Jena 1888; Lürssen, Grundzüge der Botanik; Kerner von Marialaun, Pflanzenleben; Hansen, Pflanzenphysiologie, Stuttgart 1890; Mangin, Cours élémentaire de Botanique, Paris 1886; Schleichert, Anleitung zu botanischen Beobachtungen und pflanzenphysiologischen Experimenten, Langensalza 1891.

Möge das Büchelchen eine Ergänzung der bisher im Gebrauch befindlichen botanischen Lehrbücher liefern, einer überaus wichtigen Seite des naturwissenschaftlichen Unterrichts Freunde gewinnen und als erster Versuch in dieser Richtung wohlwollende Beurteilung finden! Ratschläge und Verbesserungen seitens der Herren Fachgenossen werde ich stets gern und dankbar entgegennehmen und soweit als möglich berücksichtigen.

Löwenberg i. Schles., im September 1893.

**Dr. Oels.**

# INHALTSVERZEICHNIS.

## I. Die Nahrungsaufnahme aus dem Boden (oder dem Wasser). § 1 bis 12.


Seite

Versuch 1. Pflanzenkultur in Nährlösung . . . . . 1
„ 2. Kultur in Nährlösung und destilliertem Wasser zur Vergleichung . . . . . 4
„ 3. Kultur in eisenfreier Nährlösung . . . . . 4
„ 4. Heilung einer chlorotischen Pflanze durch Zusatz von Eisen zur Nährlösung . . . . . 4
„ 5. Heilung einer chlorotischen Pflanze durch Bepinseln der Blätter mit Eisenlösung . . . . . 4
„ 6. Nachweis der Wurzelhärchen . . . . . 5
„ 7. Fortschreiten der Härchenzone an den Wurzelfasern . . . . . 5
„ 8. Rötung von blauem Lackmuspapier durch saure Wurzelabsonderung . . . . . 6
„ 9. Ätzung einer Marmorplatte durch Wurzelsäure . . . . . 6
„ 10. Diffusion von Kupfervitriol und Wasser durch Schweinsblase . 7
„ 11. Diffusion von Wasser und Zuckerlösung; Volumzunahme der letzteren . . . . . 8
„ 12. Ausgehöhlte Mohrrübe, durch Zucker ausgesogen . . . . . 8
„ 13. Turgor in einer mit Zuckerlösung gefüllten, in Wasser gelegten künstlichen Zelle . . . . . 8
„ 14. Volumzunahme keimender Samen durch endosmotische Wasseraufnahme . . . . . 8
„ 15. Traubesche Zelle, gebildet durch Kupferchlorid in Ferrocyankaliumlösung . . . . . 9
„ 16. Längsspannung in lebenden Pflanzenstengeln . . . . . 10
„ 17. Querspannung in lebenden Pflanzenstengeln . . . . . 10
„ 18. Nachweis, dafs ein durch Diffusion in ein Gefäfs eintretendes Salz um so energischer nachdringt, je mehr davon im Inneren des Gefäfses verbraucht (umgewandelt) wird . . 12
„ 19. Versuch, um den Wurzeldruck zu demonstrieren . . . . . 12


## II. Die Transpiration. § 13 bis 30.


Versuch 20. Hebende Kraft der Verdunstung bei Anwendung von Schweinsblase als Membran . . . . . 14
„ 21. Hebende Kraft der Verdunstung, an einem beblätterten Sprofs gezeigt . . . . . 16
„ 22. Messung der Transpiration eines einzelnen Blattes . . . . . 16
„ 23. Wiederherstellung der Saugfähigkeit schlaff gewordener Sprosse durch Hineinpressen von Wasser . . . . . 17

Seite

Versuch 24. Abschneiden krautiger Sprosse unter Wasser, um deren Welken zu verhindern . . . . . 17
„ 25. Aufhebung der Verdunstung eines Sprosses durch Verstreichen der Spaltöffnungen mit Honig . . . . . 19
„ 26. Abhängigkeit der Verdunstung von der Feuchtigkeit der Luft und der Wärme . . . . . 19
„ 27. Schutz gegen Verdunstung durch Kork und Wachs . . . . . 20
„ 28. Schutz gegen Verdunstung durch dicke Cuticula . . . . . 20
„ 29. Negativer Luftdruck in der Pflanze bei starker Verdunstung, an einer Birke gezeigt . . . . . 20
„ 30. Negativer Luftdruck in einem abgeschnittenen Sprofs . . . . 21
„ 31. Wiederherstellung des Turgors durch Begiefsen . . . . . 21
„ 32. Wiederherstellung des Turgors durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit . . . . . 21
„ 33. Tropfenausscheidung an Maispflanzen . . . . . 22
„ 34. Vergleichung des Wurzeldruckes und der Transpiration . . . 23
„ 35. Beweis, dafs die Pflanzen dem Boden nicht alle Feuchtigkeit zu entziehen vermögen . . . . . 24
„ 36. Mechanischer Druck als Bewegungsmittel für Milchsaft . . . 28
„ 37. Mechanischer Druck dient zur Bewegung des Inhaltes der Siebröhren . . . . . 28
„ 38. Ringelungsversuch an einer im Boden wurzelnden Pflanze . . 28
„ 39. Entwickelung eines geringelten Weidenzweiges, der nur unterhalb der Ringelung in Wasser taucht . . . . . 30
„ 40. Entwickelung desfelben, wenn er bis über die Ringelung in Wasser taucht . . . . . 30

## III. Die Assimilation. § 31 bis 39.

Versuch 41. Gewichtszunahme der Pflanzen am Lichte . . . . . 31
„ 42. Aufsammeln des von grünen Pflanzen am Lichte abgeschiedenen Sauerstoffs . . . . . 31
„ 43. Zählen der von einem Elodeasprofs in verschieden intensivem Licht aufsteigenden Sauerstoffbläschen . . . . . 31
„ 44. Einwirkung der verschiedenen Lichtstrahlen des Spektrums auf die Sauerstoffabscheidung . . . . . 32
„ 45. Einwirkung von Licht, welches durch doppeltchromsaures Kali oder Kupferoxydammoniak gegangen ist . . . . . 32
„ 46. Etiolierte Sprosse assimilieren nicht . . . . . 34
„ 47. Kohlensäure ist für die Assimilation notwendig . . . . . 35
„ 48. Makrochemischer Stärkenachweis in grünen Blättern . . . . 36
„ 49. Mikrochemischer „ „ „ „ . . . . 36
„ 50. Nachweis, dafs die Stärke sich nur im Lichte bildet . . . . 36
„ 51. Der Gehalt der Blätter an Stärke ist sehr verschieden . . . 36
„ 52. Nachweis von Glykose in stärkefreien Blättern . . . . . 36
„ 53. Bildung von Stärke aus Rohrzucker in Irisblättern . . . . . 37
„ 54. Berechnung der Stärkeerzeugung grüner Blätter im Laufe eines Tages . . . . . 37

## IV. Atmung und Stoffwechsel. § 40 bis 49.

Versuch 55. Nachweis der Kohlensäureabsonderung einer beblätterten Pflanze im Finstern . . . . . 39
„ 56. Kohlensäureabsonderung durch keimende Samen (durch Blütenstände, Fruchtkörper von Pilzen) . . . . . 39

Seite

Versuch 57. Genauerer Nachweis der gebildeten Kohlensäure . . . . . 40
„ 58. Das Volumen der produzierten Kohlensäure ist gleich dem des verbrauchten Sauerstoffs . . . . . 41
„ 59. Nachweis der Eigenwärme bei lebhaft wachsenden Pflanzen . 42
„ 60. Keimpflanzen wachsen nur in sauerstoffhaltiger Luft . . . . 42
„ 61. Verschwinden von Stärke aus den Blättern verdunkelter Pflanzen infolge des Stoffwechsels . . . . . 43
„ 62. Verschwinden der Stärke aus verdunkelten Blattstellen . . . 44
„ 63. Nachweis der Stärke in Reservestoffablagerungen . . . . . 45
„ 64. Umwandlung von Stärke durch Diastase . . . . . 45
„ 65. Aus Stärke wird Maltose gebildet . . . . . 45
„ 66. Sachsscher Stoffwanderungsversuch mit einer teilweise verdunkelten Kürbispflanze . . . . . 46
„ 67. Stärkewanderung aus den Kotyledonen keimender Bohnen . . 46
„ 68a. Rote Begoniahaare werden durch Kalilauge blau gefärbt . . 47
„ 68b. Blaue Blumenblätter von Myosotis werden durch Säure rot gefärbt . . . . . 47
„ 68c. Rote Pflanzensäfte werden durch Ammoniak blau, durch Salzsäure wieder rot gefärbt . . . . . 47

## V. Geotropismus. § 50 bis 54.

Versuch 69. Wagrecht befestigte Wurzeln von Keimpflanzen krümmen sich abwärts . . . . . 47
„ 70. Normal gewachsene Keimpflanzen krümmen, wenn man sie umdreht, Stengel und Wurzeln nach der entgegengesetzten Richtung . . . . . 47
„ 71. Eine wagrecht gelegte Tulpenpflanze krümmt die in Streckung befindlichen grünen Teile aufwärts . . . . . 48
„ 72a. Die Wurzel einer gekeimten Erbse dringt in Quecksilber ein . 48
„ 72b. „ „ „ „ „ strebt mit messbarer Kraft nach unten . . . . . 48
„ 73. Im Dunkeln gehaltene Keimpflanzen richten die Keimblätter senkrecht in die Höhe . . . . . 48
„ 74. Nachweis der Krümmungszone der Wurzeln . . . . . 49
„ 75. Grüne Getreidehalme krümmen sich geotrop an den Knoten . 49
„ 76. Wachstum von Pflanzen, welche man dem Einflufs der Schwerkraft entzieht . . . . . 50
„ 77. Wachstum von Pflanzen, wenn man die Schwerkraft durch die Centrifugalkraft ersetzt . . . . . 50

## VI. Heliotropismus. § 55 bis 63.

Versuch 78. Wachstum von Pflanzen unter allseitiger Beleuchtung . . . 54
„ 79. Wechselnde Richtung der Blätter im Laufe des Tages . . . 54
„ 80. Oxalis wird durch künstliche Verdunkelung in Schlafstellung gebracht . . . . . 54
„ 81. Richtende Wirkung des Sonnenlichtes auf Keimpflanzen von Sinapis . . . . . 57
„ 82. Junge Epheusprosse wenden sich vom Lichte ab . . . . . 57
„ 83. Wirkung des gelben und des blauen Lichtes auf die Richtung der Pflanzenteile . . . . . 57
„ 84. Wachstum bei Ausschlufs des Geotropismus, aber voller Einwirkung des Sonnenlichtes . . . . . 58
„ 85. Der Heliotropismus hebt die Mängel der Blattstellung auf . . 58

## VII. Wärme. § 64 bis 72.


| | | | Seite |
|---|---|---|---|
| Versuch | 86. | Aus Salzlösungen gefriert zunächst fast reines Wasser aus | 61 |
| „ | 87. | Beim Gefrieren roter Rüben geschieht dasselbe | 61 |
| „ | 88. | Beim Gefrieren von Zellen tritt kein Zerreifsen der Zellhaut ein | 61 |
| „ | 89. | Kartoffelknollen erfrieren bei $-5$ bis $-10^0$ und werden dadurch im Geschmacke verändert | 61 |
| „ | 90. | Wasserreiche Pflanzenteile erfrieren leichter als trockene | 62 |
| „ | 91. | Temperaturen über $+60$ bis $+70^0$ töten Weizenkörner und Erbsensamen | 62 |
| „ | 92. | Eine gefrorene rote Rübe läfst den Farbstoff aus den Zellen austreten | 62 |
| „ | 93. | Auf $+60^0$ erhitzte Stücke von roten Rüben verhalten sich ebenso | 62 |
| „ | 94. | Auf $+60^0$ erhitzte Stücke von Begonia manicata lassen Oxalsäure austreten | 62 |
| „ | 95. | Keimpflanzen von Helianthus etc. klappen abends die Keimblätter zusammen | 62 |
| „ | 96. | Winterknospen werden im warmen Zimmer vorzeitig zur Entwickelung gebracht | 63 |


## VIII. Das Wachstum. § 73 bis 81.


| | | | |
|---|---|---|---|
| Versuch | 97. | Feststellung des Wachstums durch Wägung | 65 |
| „ | 98. | Messung des Längenwachstums mit dem Auxanometer | 65 |
| „ | 99. | Messung des Längenwachstums mittels eines Mikroskopes oder Fernrohres | 66 |
| „ | 100. | Beobachtung der grofsen Wachstumsperiode an Wurzeln, Stengeln und Blättern | 67 |
| „ | 101. | Wurzeln von Lebermoosen durchwachsen Filtrierpapier | 68 |
| „ | 102. | Korrelationserscheinungen an Keimpflanzen von Phaseolus nach Beseitigung des Epikotyls | 69 |
| „ | 103. | Korrelationserscheinungen an Kartoffelknollen | 69 |
| „ | 104. | Verschiedenes Wachstum von Keimpflanzen am Lichte und im Dunkeln | 70 |
| „ | 105. | Am Lichte ist das Längenwachstum geringer als im Dunkeln | 70 |
| „ | 106. | Blätter an lebenden Buchen, in umgekehrter Stellung befestigt, ändern die anatomische Anordnung der Zellen | 70 |
| „ | 107. | Blüten und Früchte gedeihen im Dunkeln normal | 70 |
| „ | 108. | Ein aufrecht kultivierter Weidenzweig entwickelt unten Wurzel-, oben Sprofsanlagen | 71 |
| „ | 109. | Nachweis der Abhängigkeit der Wurzel- und Sprofsanlagen vom Lichte | 71 |
| „ | 110. | Beeinflussung der natürlichen Wurzel- und Sprofsbildung durch Licht und Schwere | 71 |


## IX. Bewegungserscheinungen. § 82 bis 87.


| | | | |
|---|---|---|---|
| Versuch | 111. | Positiver Hydrotropismus der Wurzeln | 73 |
| „ | 112. | Reizversuche mit Mimosa pudica | 74 |
| „ | 113. | Reizversuche mit Staubfäden von Cynareen etc. | 75 |
| „ | 114. | Bewegungen der Ranken | 76 |
| „ | 115. | Windende Bewegungen von Phaseolus | 77 |

Seite

Versuch 116. Wagrechte Stützen vermögen windende Pflanzen nicht zu benutzen . . . . . 77
„ 117. Die Tentakeln von Droserablättern reagieren auf chemischen Reiz . . . . . 78
„ 118. Bewegungen reifer Balsaminenfrüchte . . . . . 78
„ 119. Bewegungen von Erodiumfrüchten . . . . . 79

## X. Verhältnis der Pflanzen zu den Tieren. § 88 bis 89.

Versuch 120. Versuch über Pflanzenbefruchtung durch Insekten . . . . . 79
„ 121. Bitterstoffe als Schutzmittel der Pflanzen gegen Schnecken . 80
„ 122. Fütterung von Schnecken mit rasierten Blättern behaarter Pflanzen . . . . . 80

# EINLEITUNG.

Zwei Reihen von Kräften sind für die Entwickelung aller lebenden Wesen, also auch der Pflanzen, maſsgebend, erstens die dem Keim vom Mutterorganismus mitgegebene Summe von physikalischen und chemischen Kräften, und zweitens die von aufsen auf den Keim einwirkenden Reize: Nahrungsstoffe, Luft, Wärme, Licht, Schwere und andere. Beide Arten von Kräften müssen zusammenwirken, wenn ein Pflanzenleben stattfinden soll. Alle sonst bekannten Naturkräfte sind nicht im stande, einen lebenden Pflanzenkörper, einen Keim, zu bilden; anderseits aber ist die Entwickelung einer Pflanzenanlage von der Einwirkung äuſserer Kräfte abhängig. Daſs der Keim ohne solche seinen Lebenslauf nicht vollbringen, ja nicht einmal als lebendes Wesen existieren kann, ist der fundamentale Gegensatz zwischen ihm und einem leblosen Gegenstand. Treffend vergleicht daher Sachs in seinen pflanzenphysiologischen Vorlesungen die Pflanzenanlage mit einer Maschine, welche die Fähigkeit hat, Arbeit verschiedenster Art zu verrichten, aber einer äuſseren Kraft bedarf, die sie in Bewegung setzt; und zwar sind es die gleichen Kräfte, durch welche die Maschine und die Pflanze zur Thätigkeit veranlaſst werden. Der Unterschied aber zwischen beiden ist einmal die unvergleichlich kompliziertere Zusammensetzung der organischen Maschine, ihre Fähigkeit sich zu vergröſsern, zu wachsen, und ihre Unfähigkeit lange ohne äuſsere Anregung zu bestehen, dann die auſserordentliche Mannigfaltigkeit von Kräften, welche gleichzeitig von aufsen auf die Pflanze einwirken. Will der Techniker die Leistung einer Maschine kennen lernen, so muſs er zuerst die Zusammensetzung derselben und die Natur der einwirkenden Kräfte studieren. Von der Einrichtung der pflanzlichen Maschine ist nun zwar noch sehr vieles unbekannt, namentlich die Bauthätigkeit des Protoplasma und die chemischen Umsetzungen im Chlorophyll, und man hat von jeher die Summe dieser unbekannten im Organismus wirkenden Kräfte als „Lebenskraft“ zusammengefaſst, ohne damit mehr als einen neuen Namen gewonnen zu haben. Aber je weiter die pflanzenphysiologischen Forschungen vorgeschritten sind, auf einen um so kleineren Umfang ist die sogenannte Lebenskraft der Pflanzen zusammengedrängt worden. Immer mehr ist der Einfluſs der äuſseren Kräfte, namentlich des Lichtes, der Schwere, des Klimas und der Bodenbeschaffenheit auf innere und äuſsere Gestalt, Wachstumsbewegungen, chemische Säfte

erkannt und gewürdigt worden; in immer weiterem Umfang hat sich der Einfluſs der Tierwelt auf die Pflanzen und dieser auf jene herausgestellt. Daſs ungleich auf Pflanzenteile einwirkende kontinuierliche Kräfte, wie Licht, Schwere, Feuchtigkeit, Druck, Elektrizität, so lange die Richtung des Wachstums beeinfluſsen, bis ein Ausgleich stattgefunden hat (s. Wachstum), daſs das Licht das Wachstum hemmt, die Anlage von Organen beeinfluſst, die ganze Anatomie der Laubblätter bedingt und in Verbindung mit der Schwere den Habitus der Pflanzen hervorbringt, die Wärme des Bodens und der Sturm auf Alpenpflanzen dahin wirkt, daſs sie sich dem Boden anschmiegen, daſs die mannigfachen Haar- und Stachelgebilde, die Gifte und Raphiden den verderblichen Angriffen der Tiere einen Damm entgegenzusetzen bestimmt und wiederum die durch ihre Gefräſsigkeit der Pflanzenwelt schädlichen Insekten zur normalen Befruchtung der Blütenpflanzen zum groſsen Teil notwendig sind, daſs als ein Äquivalent gegen die verderbliche Gefräſsigkeit der Tiere eine sich noch immer vergröſsernde Zahl von Pflanzen bekannt geworden ist, die aus dem Tierreich einen Teil ihres Nahrungsbedarfs decken, daſs Tiere und Pilze einerseits und die chlorophyllführenden Pflanzen anderseits eine groſse Ernährungsgenossenschaft bilden, sind die wichtigsten in neuerer Zeit auf diesem Gebiete gemachten Erfahrungen. Es ist vorauszusehen, daſs wir in der Beschränkung der geheimnisvollen Lebenskraft noch lange nicht am Ende angelangt sind, daſs stets mehr der wahrgenommenen Erscheinungen auf die bekannten Gesetze der Physik und Chemie sich werden zurückführen lassen, je mehr die noch junge Chemie sich vervollkommnet, der Scharfsinn in der Stellung der Fragen an die Natur sich zuspitzt, die Beobachtungs- und Meſsmethoden exakter werden. Wer hätte vor 100 Jahren geglaubt, daſs man heute Pflanzen ohne Erde, in Lösungen selbst dargestellter Nährsalze ziehen, daſs man das Wachstum von Pflanzenteilen mit dem Auge verfolgen und mit Apparaten messen, die Bildung und Teilung von Zellen unter dem Mikroskop beobachten, die durch innere chemische Prozesse freiwerdende Wärme nachweisen könnte? Wenn man einmal die eigentliche Lebenskraft von aller äuſseren Beeinflussung isolieren gelernt haben wird, so wird sie nichts Geheimnisvolleres, Unerklärlicheres haben, als die Kristallformen der unorganischen Körper und die Kräfte, nach denen sich alle physikalischen und chemischen Prozesse der leblosen Natur vollziehen. Überall sind der menschlichen Erkenntnis Grenzen gesetzt. Aber der Mensch hat gelernt die Naturerscheinungen auf eine immer kleinere Zahl von Grundgesetzen, von unerklärlichen „Axiomen“, zurückzuführen. Er begnügt sich damit in der Physik und Chemie, er möge und kann auch in der Erkenntnis der Lebewesen mit einem ähnlichen Erfolge zufrieden sein.

# I. Die Nahrungsaufnahme aus dem Boden (oder dem Wasser).

§ 1. Die Pflanzen[1]) vermögen bei genügenden sonstigen Bedingungen — Licht, Luft, Wärme etc. — lediglich von anorganischen Stoffen zu leben (Justus v. Liebig, Vater der Agriculturchemie, 1840). Organische Stoffe, tierischer Dünger, Humusverbindungen des Bodens werden nur indirekt, d. h. nach ihrer Verwandlung in anorganische Verbindungen, von der Pflanzenwelt zum Aufbau verwendet, dienen aber aufserdem zur Lockerung des Bodens und zur Festhaltung der gelösten Nahrungssalze.

**Versuch 1.** Man zieht Pflanzen in einer sogenannten Nährlösung, d. h. einer Lösung von gewissen anorganischen Salzen in destilliertem Wasser. Die Zusammensetzung und der Konzentrationsgrad der Lösung ist durch zahlreiche Pflanzenanalysen und Experimente bestimmt worden. Eine den meisten Pflanzen zusagende Nährlösung erhält man, wenn man in 1 Liter destillierten Wassers entweder

1 g $KNO_3$,
0,5 „ $NaCl$,
0,5 „ $CaSO_4$,
0,5 „ $MgSO_4$,
0,5 „ $Ca_3(PO_4)_2$

oder

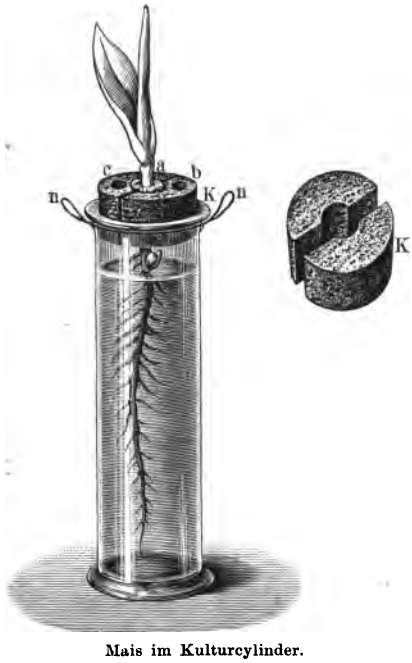
1 „ $Ca(NO_3)_2$,
0,25 „ $KCl$,
0,25 „ $MgSO_4$
0,25 „ $KH_2PO_4$

löst und in beiden Fällen einige Tropfen $Fe_2Cl_6$-Lösung oder etwas $FeSO_4 . 7 H_2O$ hinzufügt. Die Samen, welche man in dieser Lösung kultivieren will, läfst man in einem Kasten mit gut durchfeuchteten Sägespänen oder in dem Fig. 2 (a. S. 3) abgebildeten Apparate keimen, bis die Hauptwurzeln einige Centimeter lang sind, befestigt sie dann, nachdem die

[1]) Mit Ausnahme der Schmarotzer und Saprophyten.

Wurzeln von den etwa anhaftenden Sägespänen durch Schwenken in Wasser befreit sind, in einem durchbohrten Korke (Fig. 1, *K*) derartig, dafs die Wurzelspitzen unten hervorsehen und setzt diesen Kork auf einen mit obiger Nährlösung gefüllten Cylinder von 1 bis 2 Liter Inhalt. Die Befestigung der Keimpflanze geschieht mittels eines Stückchens Watte, wobei man darauf zu achten hat, dafs der Same das Wasser nicht berührt, da er sonst fault. Das so vorbereitete Glas wird in einen passenden Pappcylinder gestellt, der durch Lichtabschlufs die störende Bildung grüner Algen in der Nährflüssigkeit verhindert, und an ein sonniges Fenster gebracht. Die verdunstete und von der Pflanze verbrauchte Flüssigkeit mufs nach Bedarf durch Nachfüllen von Nährlösung oder Wasser ergänzt und die gesamte Füllung etwa alle 14 Tage durch neue ersetzt werden.

Fig. 1.




Mais im Kulturcylinder.

*K* Kork mit drei Durchbohrungen, *a* für die Pflanze, *b* für einen Stab zum Anbinden derselben, *c* zur späteren Einführung eines Glasrohres für die Durchlüftung des Wassers. *n n* Drahtschlingen, um den Glascylinder aus dem Pappcylinder herausnehmen zu können (nach Hansen).

Um den Pflanzen natürlichere Verhältnisse zu bieten, kann man sie auch in Boden von ausgeglühtem Bimsstein oder möglichst rein ausgewaschenem Quarzsand pflanzen und mit Nährlösung begiefsen; doch ist in diesem Falle der richtige Konzentrationsgrad der Nährlösung schwieriger zu erreichen.

Anm. 1. Das in der Nährlösung angewandte $Ca_3(PO_4)_2$ ist in Wasser nur wenig löslich und bildet deshalb einen Bodensatz, welcher aber in demselben Grade geringer werden mufs, als die Pflanze im Verlaufe des Wachstums von dem gelösten verbraucht.

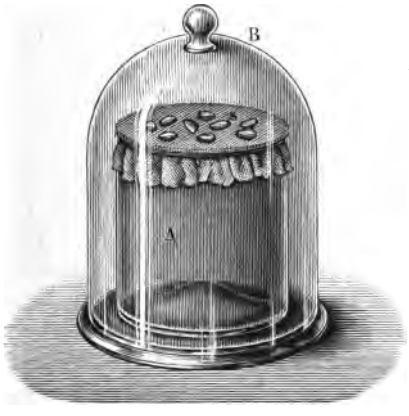
Anm. 2. Das Kochsalz ist für die Ernährung der Pflanzen im strengeren Sinne überflüssig. Es dient nur dazu, die durch den Verbrauch seitens der Pflanzen zum Alkalischwerden neigende Flüssigkeit neutral zu erhalten. Man könnte dasselbe daher weglassen, wenn man es vorzöge, der Umsetzung der Nährlösung dadurch vorzubeugen, dafs man sie alle drei bis vier Tage erneuert.

Anm. 3. 11 Elemente sind bis jetzt durch die Analyse in jeder Pflanze nachgewiesen worden, von denen eines, der Kohlenstoff, wie wir später sehen werden, von den Pflanzen der atmosphärischen Luft entnommen wird, während die übrigen 10, nämlich: H, O, K, N, Cl, Ca, S, Mg, P und Fe, in obiger Nährlösung enthalten sind.

Anm. 4. Die Analyse und die landwirtschaftliche Erfahrung beweisen, dafs Pflanzen verschiedener Art und Gattung, die in derselben Nährlösung oder in demselben Boden aufgewachsen sind, die in Anm. 3 genannten 10 Elemente in ganz verschiedenem Prozentsatz enthalten, woraus hervorgeht, dafs eine genau für alle Pflanzen passende Nährlösung überhaupt nicht zusammensetzbar ist. Daher kann man nicht nur statt der oben angeführten Salze andere, welche die notwendigen Elemente in löslicher Form bieten, wählen, sondern auch den Konzentrationsgrad der Lösung innerhalb gewisser Grenzen ändern.

Anm. 5. Die Nährlösung soll möglichst so beschaffen sein, dafs die Versuchspflanzen Wasser und Nährsalze im Verhältnis der dargebotenen Mischung verbrauchen. Da dies Verhältnis aber je nach der Wärme und demnach der Verdunstung der Lösung selbst wechselt, auch, wie in Anm. 4 angegeben, die Pflanzen die im Wasser gelösten Salze nicht proportional den gelösten Mengen verbrauchen, so würde, wenn man die verloren gegangene Flüssigkeitsmenge immer mit Nährlösung ersetzen würde, allmählich ein schädlicher Konzentrationsgrad des einen oder andern Salzes herbeigeführt werden. Es ist also zu empfehlen, die ganze Nährlösung sehr oft zu erneuern, oder die

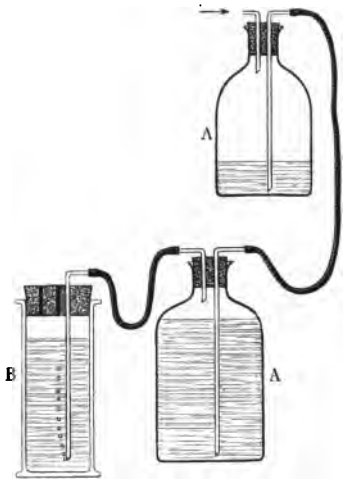
Fig. 2.




Keimapparat nach Hansen.

Das Glasgefäfs *A* ist mit Wasser gefüllt und mit Strammin überspannt, auf dem die keimenden Samen liegen. Darüber ist die Glasglocke *B* gestellt, welche man inwendig noch mit feuchtem Fliefspapier auskleiden kann.

Fig. 3.




Durchlüftungsapparat nach Hansen.

*A A* Aspirator, *B* Nährlösung.

verdunstete, resp. verbrauchte Flüssigkeit eine Zeitlang, etwa 14 Tage hindurch, durch destilliertes Wasser zu ersetzen, dann aber die Nährlösung ganz zu erneuern. Nach Sachs' Versuchen[1]) ist es sogar den Pflanzen förderlich, wenn man sie von Zeit zu Zeit in reines oder mit Gips fast gesättigtes Wasser setzt. Es entspricht dies den Vorgängen in der Natur, da hier je nach der Regenmenge der Konzentrationsgrad der Nährlösung des Bodens sehr wechseln mufs.

---

[1]) Sachs, Pflanzenphysiologische Vorlesungen, S. 343. Über die Einwirkung verschieden konzentrierter Nährlösungen berichtet auch B. Stange, Beziehungen zwischen Substratkonzentration, Turgor und Wachstum bei einigen phanerogamen Pflanzen. Bot. Zeit., Jahrg. 50, 1892, Nr. 21 ff.

Macht sich Geruch nach Schwefelwasserstoff bemerklich und bildet sich ein schwarzer, übelriechender Schlamm, so ist dies ein Fingerzeig, dafs zu viel Nährsalz, besonders Schwefelsalz, angewendet war; es haben sich Schwefelmetalle gebildet.

Anm. 6. Fig. 3 (a. v. S.). Hansen (Pflanzenphysiologie 1890, S. 72) empfiehlt, um den Wurzeln der Pflanze in der Nährlösung den nötigen Sauerstoff zukommen zu lassen, eine öftere Durchlüftung der Nährlösung mittels eines Aspirators.

§ 2. Destilliertes Wasser allein ist nicht im stande, die Ernährung der Pflanzen auf die Dauer zu unterhalten; die Pflanzen gehen in demselben nach einiger Zeit, wenn nämlich die Reservestoffe und sonstigen Vorräte der angewendeten Samen oder Versuchspflanzen aufgebraucht sind, zu Grunde.

**Versuch 2.** Man kultiviert von zwei möglichst gleichen Keimpflanzen derselben Art die eine in Nährlösung obiger Zusammensetzung, die andere in einem Glase, welches statt der Nährlösung destilliertes Wasser enthält. Nach etwa 14 Tagen zeigt sich ein Unterschied zwischen beiden zu Ungunsten der im destillierten Wasser gewachsenen Pflanze; nach längerer Zeit verkümmert diese und geht ein.

§ 3. Bei Anwendung eisenfreier Nährlösung vermögen die Versuchspflanzen keinen grünen Farbstoff (Chlorophyll) in den Blättern zu bilden; sie werden, wenn der Eisengehalt des Keimpflänzchens aufgebraucht ist, bleich (chlorotisch) und gehen schliefslich ein, weil sie nur bei Anwesenheit von Chlorophyll zu assimilieren vermögen (s. Abschnitt: Assimilation). Bei nachträglicher Eisenzufuhr färben sich die bleichen Blätter, wenn die Krankheit noch nicht zu weit fortgeschritten ist, grün.

**Versuch 3.** Man setzt Keimpflanzen mit ihren Wurzeln in eisenfreie Nährlösung. Die zuerst gebildeten Blätter sind infolge des vom Samen mitgebrachten Eisenvorrates noch grün, die späteren werden chlorotisch.

**Versuch 4.** Einer nach Versuch 3 behandelten Pflanze wird, nachdem sie einige chlorotische Blätter gebildet hat, Eisen geboten, indem man ihrer Nährlösung einen Tropfen Eisenchloridlösung zusetzt. Die Blätter färben sich nach kurzer Zeit grün.

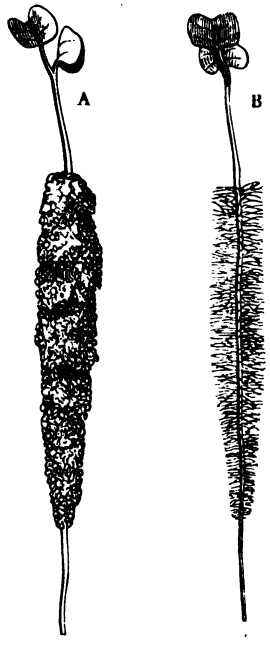
**Versuch 5.** Bleiche Blätter einer teilweise chlorotischen Pflanze werden stellenweise mit sehr verdünnter Eisenvitriollösung bepinselt. Die bestrichenen Stellen werden grün, und die Ergrünung verbreitet sich, von hier fortschreitend, allmählich über die ganzen Blätter. Damit wird gleichzeitig bewiesen, dafs Eisenlösung durch die Blattmembran hindurch in das Innere des Pflanzenkörpers gelangen und sich hier weiter verbreiten kann.

Anmerkung. Sachs hat an im freien Lande gewachsenen chlorotischen Pflanzen interessante, hierher gehörige Beobachtungen gemacht, aus denen sich ergab, dafs der Boden, um für eine gedeihliche Entwickelung der Pflanzen tauglich zu sein, nicht nur überhaupt Eisen, sondern Eisen in für

Wasser löslicher Form enthalten mufs. Er kann z. B. Eisenoxyd in vollkommen hinreichender Menge enthalten, und die Pflanzen leiden dennoch an Chlorose, weil diese Eisenverbindung in Wasser nicht löslich ist. Auch Eisenvitriol, in Lösung dem Boden zugeführt, heilte die Krankheit nicht leicht, weil dieses Salz sich aufserordentlich leicht in Eisenoxydhydrat verwandelt. Als bestes Mittel erwies sich das Eingraben festen Eisenvitriols rings um die erkrankten Pflanzen.

§ 5. Die Wurzelfasern entwickeln im Boden feine, mit bloſsem Auge in günstigen Fällen als zarter Pelz wahrnehmbare Wurzelhaare, welche mit den kleinsten Bodenteilchen innig verwachsen.

Fig. 4. Fig. 5.




Keimpflanze des weifsen Senfes.
*A* Aus der Erde genommen, zeigt die an den Wurzelhaaren haftenden Bodenteilchen, die bei *B* durch Schwenken im Wasser abgerissen sind (nach Sachs, Pflanzenphysiol., S. 313).

**Versuch 6.** Man zieht Erbsen, Senf etc. in Sand oder lockerem Boden, nimmt die Keimpflanzen nach einiger Zeit vorsichtig heraus und untersucht, nachdem man die Wurzeln durch oberflächliches Abspülen von der anhaftenden Erde befreit hat, die Wurzelfäserchen zunächst bei schwacher, dann bei stärkerer Vergröfserung.

§ 6. Die Wurzelhärchen bekleiden nicht dauernd ein und dieselbe Stelle der Wurzelfasern oder diese in ihrer ganzen Länge, sondern die Härchenzone schreitet im Verlaufe der Entwickelung der Fasern derartig vorwärts, dafs immer in einer gewissen, kleinen Entfernung hinter der Spitze der Wurzelfaser, welche nackt bleibt, eine Zone von bestimmter Breite mit Härchen bekleidet ist. Die älteren Härchen sterben nämlich in demselben Mafse ab, als sich nach vorn zu neue bilden. Der Zweck dieser Einrichtung ist offenbar der, immer neue Teile des Bodens in Angriff zu nehmen und so eine möglichst allseitige Ausnutzung desselben durch die Pflanze zu ermöglichen. Die Wurzelhärchen entwickeln sich am besten in einem Substrat mit wenig flüssiger Nahrung, weil dann die Pflanze auf möglichste Vergröfserung ihrer aufsaugenden Oberfläche bedacht sein mufs, um ihren Wasserbedarf zu decken, andrerseits bleiben sie unvollkommen oder sind gar nicht zu bemerken in einem Substrat, wo der Pflanze der Nahrungserwerb leicht gemacht wird, z. B. in Nährlösung.

**Versuch 7.** Man bringt eingequellte und schon mit kleinen Hauptwurzeln versehene Erbsen in einen grofsen Glastrichter, der mit mehreren

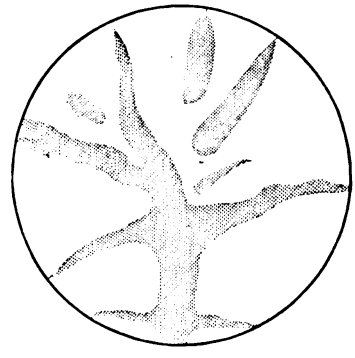
Lagen angefeuchteten Fliefspapiers und einer Glasplatte bedeckt wird, um die nötige Feuchtigkeit zu liefern und zu erhalten, und dessen unteres Ende in ein Glas taucht, welches zur Absorption der reichlich sich bildenden Kohlensäure etwas Kalilauge enthält. Nach wenigen Tagen bemerkt man an den Hauptwurzeln eine Zone von Wurzelhaaren, deren stetiges Fortschreiten sich beobachten läfst, während die nach Versuch 1 in Nährlösung gezogenen Pflanzen durchaus keine Wurzelhaare entwickeln.

§ 7. Nur gelöste Nahrungsmittel können von den Wurzeln aufgenommen werden, denn diese zeigen auch unter der stärksten Vergröfserung keine sichtbaren Poren. Die Lösung der Nährsalze des Bodens wird nun zwar zum gröfsten Teil durch das den Boden durchsickernde Wasser bewirkt, zumal wenn es mit Kohlendioxyd und Sauerstoff beladen ist, wie besonders das Regenwasser, ferner bilden sich in

Fig. 6.

Apparat zur Zucht von Erbsen in feuchter Luft.
*K* Kalilauge. *L* Löschpapier.

Fig. 7.



Marmorplatte,
durch die Wurzeln einer Phaseoluspflanze angeätzt (nach Detmer).

Luft und Boden Säuren, namentlich Schwefel- und Salpetersäure, welche Gesteine zersetzen; zum nicht geringen Teile aber vermitteln die Wurzeln selbst die Auflösung des Substrates, indem sie saure Säfte absondern, welche im stande sind, kohlensauren Kalk und andere Kohlensäureverbindungen in lösliche oder leichter lösliche Salze überzuführen.

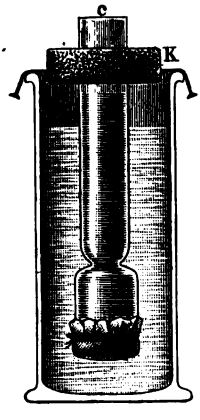
**Versuch 8.** Man legt die Wurzeln von verschiedenen Keimpflanzen, z. B. von nach Versuch 7 behandelten Erbsen, auf angefeuchtetes blaues Lackmuspapier: dasselbe rötet sich an den berührten Stellen.

**Versuch 9.** Man zieht eine schnell wachsende Pflanze, z. B. von Phaseolus, in einem Topf, auf dessen Boden eine blank polierte Marmorplatte angebracht ist. Nachdem die Erde gut durchwurzelt ist, nimmt man die Platte heraus und findet nun an den Stellen, wo die Wurzeln sie berührt haben, rauhe Linien, welche durch die ausgetretene Säure in den Stein geätzt sind.

§ 8. Die Pflanze ist, rein physikalisch betrachtet, vergleichbar einem ringsum von organischer Membran umgebenen, meist in zahllose Kammern geteilten Hohlraum, welcher mit verschiedenartigen festen, festweichen, in Wasser gelösten und gasförmigen Stoffen gefüllt ist. An seinen beiden Polen, unterhalb der Erde im Wurzelsystem und oberhalb derselben in der Blätterkrone, zeigt derselbe eine ungeheure Flächenentwickelung, indem zahlreiche, hier cylindrische (Wurzelhaare), dort flächenförmige Organe (Blätter) gebildet werden, welche durch besonders dünne Membran die Diffusion flüssiger und gasförmiger Stoffe begünstigen, während zwischen dem Wurzel- und Blättersystem eine im wesentlichen röhrenförmige Leitung (ein Stamm) mit einer für Flüssigkeiten und Gase undurchdringlichen [1]) Rinde eingeschoben ist.

Unter Diffusion versteht man im allgemeinen jeden Austausch zweier einander berührenden gasförmigen oder gelösten Stoffe, im besondern aber den Austausch von Gasen und Lösungen, welche durch eine organische Membran getrennt sind, oder vielmehr, da man sich die Membran mit zahlreichen, unsichtbar kleinen Poren durchlöchert denkt, in dieser sich berühren. Dieser Austausch erfolgt erfahrungsmäfsig — selbst entgegen dem Gesetze der Schwere — so lange, bis auf beiden Seiten der Membran eine gleich zusammengesetzte Mischung vorhanden ist, vorausgesetzt, dafs sich die getrennten Flüssigkeiten überhaupt mischen, was bei Gasen immer der Fall ist.

Fig. 8.




*K* Kork, in welchen der mit $CuSO_4$-Lösung versehene Cylinder *c* eingelassen ist.

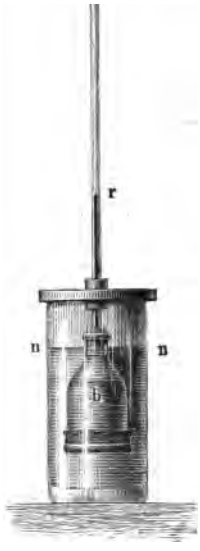
**Versuch 10.** Ein gewöhnlicher Lampencylinder wird einerseits mit Schweinsblase fest überbunden, mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt und, mit dem geschlossenen Ende in ein Gefäfs mit destilliertem Wasser tauchend, befestigt. Nach einiger Zeit zeigt die bläuliche Färbung des vorher farblosen Wassers im äufseren Gefäfse, sowie ein in dies Gefäfs gelegter blanker Eisennagel durch kupferroten Beschlag an, dafs Kupfervitriol durch die Membran in das destillierte Wasser übergetreten ist.

§ 9. Je leichter beweglich die Gase und Flüssigkeiten sind, um so schneller erfolgt im allgemeinen ihre Diffusion nach der entgegengesetzten Seite der Membran. Feste, in Wasser gelöste Stoffe diffundieren schwerer als Wasser, konzentriertere Lösungen nehmen daher, weil zu ihnen mehr Wasser eintritt als Bestandteile austreten, an Volumen zu, verdünntere

[1]) Nur die Lentizellen lassen einen schwachen Gasaustausch zu. Vergl. Detmer, S. 110.

ab. Befinden sich nun im unteren Teile der Pflanzen konzentrierte Lösungen von Stoffen, welche im Boden fehlen, so mufs durch vermehrten Wassereintritt eine Volumvergröfserung der Pflanze stattfinden und die nun verdünnte Lösung mufs in der Pflanze ein Steigen erfahren.

Fig. 9.




Dutrochet's Endosmometer (nach Müller, Physik).

**Versuch 11.** Eine tubulierte Glasglocke wird unten mit Schweinsblase verschlossen, mit konzentrierter Zuckerlösung (1 : 3) gefüllt und oben mit einem durchbohrten Korke verschlossen, in dessen Loch eine etwa 1 m lange Glasröhre genau eingepafst ist[1]). Den Apparat läfst man mit seinem unteren Ende in ein Gefäfs tauchen, welches mit destilliertem Wasser gefüllt ist. Nach einiger Zeit (12 bis 24 Stunden) bemerkt man, dafs das Volumen der Zuckerlösung erheblich zugenommen hat, was man vermittelst der Steigeröhre wahrnehmen kann, und dafs Zucker in das untere Gefäfs übergetreten ist, was sich durch den Geschmack und durch die nach längerem Stehen darin auftretende Schimmelbildung konstatieren läfst.

**Versuch 12.** Eine dicke Mohrrübe wird derartig ausgehöhlt, dafs noch eine etwa $^1/_2$ cm dicke Wand bleibt. Füllt man die Höhlung mit gestofsenem Zucker, so wird dieser durch den endosmotisch aus der Rübe tretenden Saft allmählich in eine konzentrierte Lösung verwandelt, während die Rübe deutlich zusammenschrumpft.

Fig. 10.

Mohrrübe, ausgehöhlt und mit Zucker gefüllt (nach Müller, Physik).

**Versuch 13.** Ein beiderseits offener Glascylinder wird auf einer Seite mit Schweinsblase überbunden, mit konzentrierter Zuckerlösung gefüllt, darauf auch auf der andern Seite mit Schweinsblase überbunden und in Wasser gelegt. Der Inhalt nimmt zu; die Schweinsblasenwände wölben sich uhrglasförmig vor, und es entsteht ein erheblicher Druck im Inneren, der sich durch Ausspritzen des Inhaltes offenbart, wenn man in die eine Schweinsblase mit einer Nadel ein Loch sticht (s. Fig. 11).

Der Versuch erklärt die Straffheit, den „Turgor" der safterfüllten lebenden Pflanzenzelle (s. § 10).

**Versuch 14.** Einen Mafscylinder von etwa 500 ccm Inhalt füllt man etwa zur Hälfte mit Erbsen und

[1]) Da beim Steigen der Flüssigkeit der Druck ein sehr bedeutender wird, so mufs die Glasröhre in dem Korke genau schliefsen, nötigenfalls eingekittet werden. Einen brauchbaren Kitt erhält man durch Zusammenschmelzen von Wachs und Kolophonium zu gleichen Teilen. Er wird heifs mit dem Pinsel aufgetragen.

dann bis zu derselben Marke mit Wasser. Nach 24 Stunden haben die Erbsen ganz erheblich an Volumen zugenommen, während der Wasserspiegel gesunken ist.

**Versuch 15.** In eine verdünnte Lösung von Ferrocyankalium wirft man einen Krystall von Kupferchlorid. Sofort bildet sich um letzteren herum eine konzentrierte Lösung von Kupferchlorid, welche mit Ferrocyankaliumlösung einen amorphen, in beiden Flüssigkeiten unlöslichen Niederschlag giebt. Auf diese Weise sind ähnliche Verhältnisse geschaffen, wie in Versuch 11, d. h. es befindet sich eine konzentrierte Kupferchloridlösung durch eine amorphe Membran in Berührung mit einer verdünnten Ferrocyankaliumlösung, welche an jene beständig Wasser abgiebt, während Kupferchlorid und Ferrocyankalium am Übertritte in den andern Raum verhindert werden, weil sie sofort bei der Berührung miteinander einen festen Niederschlag bilden. Infolgedessen wächst die „künstliche Zelle" (Traubesche Zelle [1]) beständig,

Fig. 11.

Künstliche Zelle, um den Turgor zu demonstrieren.

indem sie durch Wasseraufnahme ihr Volumen und durch Bildung neuen Niederschlages ihre Membran vergrößert.

§ 10. Turgor. Nimmt die lebende, mit Saft erfüllte Zelle mehr Wasser ein, als ihr gewöhnliches Volumen umfaßt, so muß die Zellwand, aus Zellhaut und wandständigem Protoplasmabelag bestehend, gedehnt werden. Da die Zellhaut ihrerseits stark elastisch ist, preßt sie den Saftraum zusammen, und diese innere Spannung der Zellbestandteile nennt man den Turgor. Er erhält nicht nur die einzelne Zelle straff (s. Versuch 13), sondern veranlaßt die Straffheit, Steifheit, Festigkeit ganzer Gewebe und Pflanzen. Ein leerer Gummischlauch ist biegsam und schlaff; wenn Wasser hineingepreßt wird, ist er steif wie ein Stock, und zwar um so mehr, je stärker die Wandung und je kräftiger der Druck ist. Treten Gewebe mit verschiedenem Turgor zu einander in Beziehung, so entsteht eine Gewebsspannung, die in ihrer Wirksamkeit auf ganze Pflanzenorgane mit der Wirkung des Turgors auf die einzelne Zelle verglichen werden darf. Durch Turgor und Gewebsspannung wird die Festigkeit der krautigen Stengel und Blattgewebe hervorgebracht.

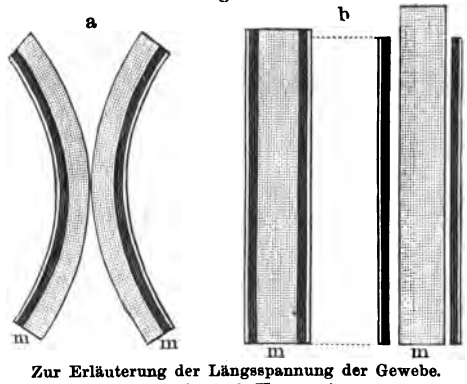
[1]) Die Ähnlichkeit mit einer pflanzlichen Zelle ist gleich Null, immerhin aber bieten die Traubeschen Zellen einen höchst interessanten Diffusionsversuch.

Ein durch übermäfsige Verdunstung des Turgors beraubter, „welker", Sprofs ist schlaff; die innere Spannung, das Ausdehnungsbestreben der Zellinhalte fehlt. Die krautigen Stengel haben wir uns in dieser Beziehung vorzustellen als aus einer elastischen Wand (Sklerenchym- und Holzfasern) und aus einer nach Ausdehnung strebenden Füllung (dem parenchymatischen Gewebe) bestehend. Indem das letztere Gewebe die elastische Hülle dehnt, diese aber Widerstand leistet, wird der Stengel (Blattstiel, Blatt) steif und hart.

Dafs das Markparenchym krautiger Pflanzenstengel und junger Äste von Holzpflanzen ein gröfseres Imbibitionsvermögen und deshalb ein stärkeres Ausdehnungsbestreben besitzt, als die es umgebenden festeren Hüllen, läfst sich durch folgende einfache Versuche beweisen.

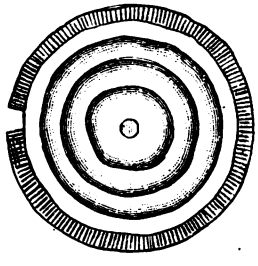
**Versuch 16a.** (Hansen, S. 45.) Fig. 12a. Man schneidet aus dem in vollem Wachstum befindlichen Stengel einer krautigen Pflanze (z. B. Sonnenrose, Blütenschaft von Taraxacum etc.) ein mehrere Centimeter langes Stück heraus und aus diesem eine durch

Fig. 12.




Zur Erläuterung der Längsspannung der Gewebe. *m* Mark (nach Hansen).

Fig. 13.



Demonstration der Querspannung (nach Detmer).

die Mitte gehende Längslamelle. Halbiert man diese nun mit einem scharfen Messer, so krümmt sich jede Hälfte mit ihren Enden nach aufsen: Die gedehnt gewesene Rinde zieht sich zusammen, das zusammengepreíst gewesene Innengewebe dehnt sich aus.

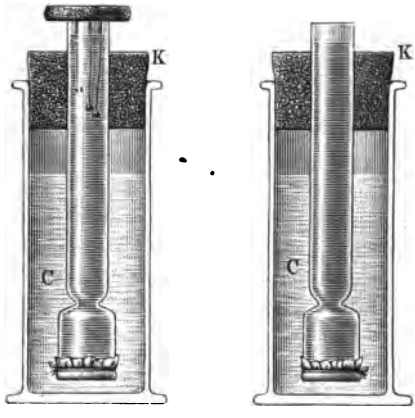
**Versuch 16b.** (Hansen.) Fig. 12b. Man behandelt eine ähnliche Stengellamelle, wie in Versuch 16, in der Weise, dafs man auf beiden Seiten die Rinde (Haut, Rinde und Holz) lostrennt. Nun verkürzen sich die Rindenteile, und das Markparenchym verlängert sich. Während der unverletzte Stengel steif war, sind die nun getrennten Teile sehr biegsam. Sieht man den befreiten Innenteil sich ausdehnen, so wird man unwillkürlich an einen soeben aus der engen Puppenhülle geschlüpften Käfer oder Schmetterling erinnert, von dem man auch nicht begreift, wie er vorher Platz gehabt hat.

**Versuch 17.** Fig. 13. Man schneidet aus dem Stengel einer Helianthuspflanze oder einem Weidenaste eine Querscheibe, zerteilt

durch einen senkrechten Schnitt die Rinde und löst sie ringsum ab. Wenn man sie sodann dem Kerne wieder umlegt, findet man, dafs sie nun nicht mehr zur völligen Umschliefsung reicht. Sie mufs also vorher gedehnt gewesen sein.

§ 11. Die Wurzeln der Pflanzen tauchen im Boden in eine Lösung von Salzen, welche in der Pflanze gar nicht oder in verdünnterer Form vorhanden sind. Es mufs also Diffusion der Salze in die Pflanze eintreten, bis inwendig und auswendig ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Derselbe tritt aber, wenn die im Boden gelösten Salze der Pflanze notwendig sind, niemals ein, weil auswendig durch Lösung neuer Salze der gewöhnliche Konzentrationsgrad der Nährlösung immer neu hergestellt wird, inwendig aber durch Verbrauch der Salze zum Aufbau der Pflanze (Verwandlung in andere chemische Verbindungen, Weiterleitung an die Stellen des Verbrauchs) die Lösung fortwährend verdünnt wird. Je stärker der Verbrauch irgend eines Salzes innerhalb der Pflanze ist, um so stärker ist der Nachschub desselben Stoffs durch Diffusion, soweit dazu im Boden Stoff vorhanden ist.

Fig. 14.




Die Korke *KK* schliefsen nicht luftdicht. *CC* Kupfervitriollösungen.

Selbstverständlich wird nach den Gesetzen der Diffusion immer nur der Stoff aus dem Boden ergänzt — auch Wasser —, welcher verbraucht oder auf irgend eine andere Weise aus den Wurzelzellen entfernt ist. Das Verschwinden von Eisen aus den Wurzelzellen setzt z. B. nur Eisenteilchen aus dem Boden in wandernde Bewegung, der Wasserverlust durch Verdunstung wird durch neue Wasserzufuhr gedeckt.

Auf diesen Diffusionsgesetzen beruht auch die verschiedene Aufnahme von Nährsalzen des Bodens durch die verschiedenen Pflanzenarten. Da diese nach der verschiedenen ihnen innewohnenden Neigung, resp. Zusammensetzung auch verschiedene Stoffe zu ihrem Aufbau verbrauchen, mufs eine dementsprechende Zufuhr von Stoffen aus dem Boden erfolgen und müssen andere Pflanzenarten denselben Boden in anderer Weise in Anspruch nehmen.

Dieses „Wahlvermögen", auf welchem die Fruchtfolge des Landmanns beruht, besteht also in dem verschiedenen Stoffverbrauche innerhalb der Pflanze.

Es findet in dieser Beziehung zwischen den Pflanzenarten und den Bodenteilchen ein ähnliches Verhältnis statt, wie zwischen den Tierarten (z. B. Schmetterlingsraupen) und den verschiedenen Pflanzen ein und derselben Gegend. Was der einen Raupenart schmeckt, ist der andern zuwider, was die eine Pflanzenart braucht, läfst die andere unberührt oder braucht sie nicht in demselben Mafse.

**Versuch 18.** Fig. 14 (a. v. S.). Zwei gleiche Lampencylinder werden am unteren Ende mit Schweinsblase verschlossen und mit destilliertem Wasser gefüllt, nachdem man mittels einer Korkscheibe im oberen Ende des einen mehrere blanke Eisennägel (oder eine Stange Zink) angebracht hat. Beide Cylinder werden nun in gleiche, mit Kupfervitriol von derselben Konzentration gefüllte Gläser gestellt. Nach einiger Zeit bestimmt man den Konzentrationsgrad der Kupfervitriollösungen durch Ausfällung des Kupfers mittels Zink und Wägung des Niederschlages. Man findet, dafs in derjenigen, in welche der mit Eisen versehene Cylinder tauchte, der Kupfergehalt geringer ist als in der andern, weil in diesem Cylinder durch Abscheidung des Kupfers am Eisen ein beständiger Verbrauch von Kupfervitriol stattgefunden hat.

Fig. 15.

Apparat zur Demonstration des Wurzeldruckes (nach Detmer).

Die chemische Bestimmung wird leichter, wenn man Silberlösung statt der Kupferlösung nimmt und das Silber durch Kupfer ausscheiden läfst. Der Silbergehalt der Flüssigkeiten läfst sich dann leicht mafsanalytisch durch Kochsalz bestimmen ($1\,g\ NaCl = \frac{108}{58{,}5}\ Ag$).

**Versuch 19.** Fig. 15. Man schneidet den Stamm einer kräftig vegetierenden Pflanze (Sonnenrose, Georgine, Tabak, Birke, Ahorn, Brennessel) mit gut entwickeltem Wurzelsystem oder eine kräftige Weinrebe im Mai eine kurze Strecke über dem Boden ab und befestigt mittels eines kurzen Kautschukschlauches eine lange Glasröhre, welche in senkrechter Stellung gehalten wird. Es findet in kurzer Zeit ein erhebliches Steigen des Saftes (einer wässerigen, etwas schleimigen Flüssigkeit) im Glasrohre statt.

Anmerkung. Die Höhe der Flüssigkeitssäule kann beim Weinstocke im Frühjahre 10 m, bei Urtica 3 bis 4 m betragen. Übrigens wechselt die Höhe nach der Tageszeit bedeutend. Beim Wein war in den Stunden von 12 bis etwa 6 Uhr am Tage ein regelmäfsiger Rückgang zu verzeichnen. Bei der Sonnenrose fand schon früh um 10 ein Zurückweichen des Saftes statt. Der Grund für diese Periode ist nicht bekannt. Man nennt diesen Diffusionsdruck

gewöhnlich „Wurzeldruck". Er findet naturgemäfs bei überwinterten Pflanzen am stärksten im Frühjahre statt, wo die in den unteren Pflanzenteilen angehäuften Reservestoffe durch plötzliche Verflüssigung sich in sehr konzentrierter Lösung gegenüber der wässerigen Bodenflüssigkeit[1]) befinden, während die Verdunstung gering ist, da eine entwickelte Blätterkrone und hohe Temperatur der Atmosphäre noch fehlen.

§ 12. Alle im vorhergehenden besprochenen Diffusionsversuche haben nur den Wert, uns eine entfernte Idee über die pflanzlichen Vorgänge bei der Nahrungsaufnahme aus dem Boden zu geben. Die Diffusion ist eben ein so komplizierter und von so vielen Kräften und Umständen abhängiger Vorgang, dafs ihm an der lebenden Pflanze schwer beizukommen ist. Sie hängt ab 1. von der Dicke, Porosität und chemischen Zusammensetzung der Membran, 2. von der chemischen Beschaffenheit der durch die Membran getrennten Stoffe, 3. von dem Drucke, unter welchem die diffundierenden Körper stehen, 4. von der Temperatur. Die Membranen der Pflanze und die Flüssigkeiten in derselben sind auf ihre Diffusionseigenschaften bei weitem noch nicht genügend untersucht. Das Wichtigste, was man bis jetzt in Betreff dieser Frage hat entscheiden können, ist die Wahrnehmung, dafs die Nahrungssalze des Bodens im wesentlichen leicht diffundierbare Körper (Krystalloide) sind, während in der Pflanze vorwiegend schwer diffundierende Stoffe (Colloide) sich befinden, die aus den aufgenommenen Krystalloiden erzeugt sind.

---

## II. Die Transpiration.

§ 13. Nach der in § 8 gegebenen Beschreibung von der physikalischen Beschaffenheit des Pflanzenkörpers mufs an dem Pole, welcher dem Wurzelsysteme entgegengesetzt ist, eine Verdunstung von Wasser stattfinden. In der That ist fast stets ein Teil der Blattbedeckung für Wasser durchlässig; das in den anstofsenden Zellen befindliche Wasser durchdringt die poröse Wandung und verdunstet nun ebenso und nach denselben physikalischen Gesetzen, wie eine frei an der Atmosphäre liegende Wasserfläche. Druck, Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt und Bewegung der Luft sind die äufseren Kräfte, welche auf die Vermehrung oder Verminderung der Transpiration einwirken. Da der Wasserverlust einer Oberflächenzelle sich durch Diffusion aus der zunächst nach unten resp. innen liegenden Parenchymzelle ergänzt, diese Zelle wieder an einer dritten sich schadlos hält u. s. w., so mufs die Transpiration einen auf-

---

[1]) Die durch Verflüssigung von Reservestoffen in der Pflanze gebildeten Lösungen sind sämtlich organische (Zucker, Dextrin, Asparagin etc.), welche im Boden nicht vorkommen.

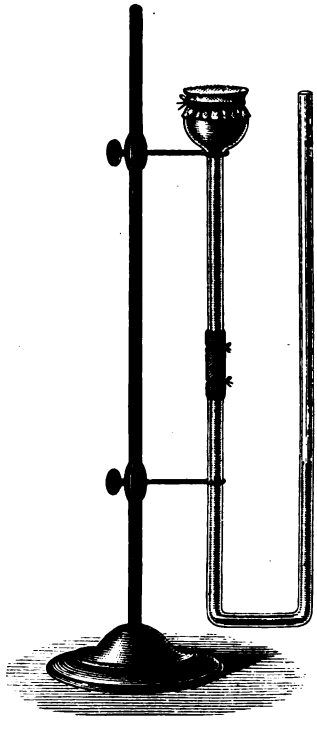
steigenden, d. h. von der Wurzel und schliefslich vom Boden her nach den verdunstenden Blattflächen gerichteten Wasserstrom verursachen, der bei reich beblätterten Bäumen ein sehr bedeutender sein kann.

§ 14. Man kann sich in dieser Beziehung die Pflanze als ein mit Wasser gefülltes Glasrohr vorstellen, dessen oberes Ende erweitert und durch eine organische Membran verschlossen ist, dessen unteres Ende aber in Wasser taucht. In diesem Falle wird durch das an der Ober-

Fig. 16.

Apparat, um die hebende Kraft der Verdunstung zu zeigen.

Fig. 17.



fläche der Membran verdunstende Wasser eine aufwärts gerichtete Wasserströmung bewirkt.

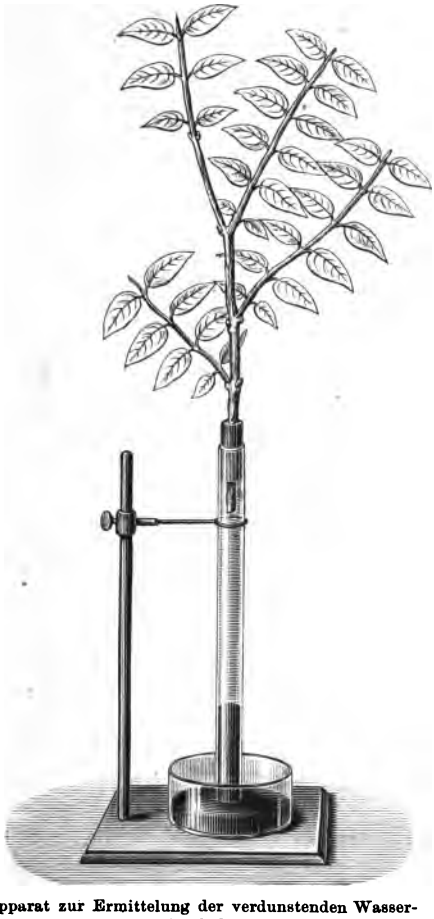
**Versuch 20.** Fig. 16. Ein gläsernes Trichterrohr wird in einem Eimer mit Wasser gefüllt und unter Wasser[1]) oben mit Schweinsblase zugebunden. Nun hält man das untere Ende mit dem Finger zu, nimmt das Trichterrohr heraus und läfst es in Quecksilber tauchen. Das letztere steigt bis zu einer gewissen Höhe, welche von der Dicke und Widerstandsfähigkeit der Membran abhängt. Wendet man daher Rindsblase

[1]) Bei Vernachlässigung dieser Vorsichtsmafsregel bildet sich unter der Schweinsblase regelmäfsig eine Luftblase.

an, so steigt das Quecksilber höher (30 cm), bei Anwendung dünnerer Membran, z. B. Schweinsblase (ca. 20 cm) oder Haut von Coluteafrüchten, weniger hoch.

Man kann den Versuch auch einfacher, jedoch weniger instruktiv auf folgende Weise vornehmen (Fig. 17). An einem Trichterrohre befestigt man mittels Kautschukschlauches eine lange, zweimal rechtwinkelig gebogene Glasröhre, füllt den Trichter und die Glasröhre mit Wasser (oder einen Teil der Glasröhre mit Quecksilber und nur das überstehende Glasrohr nebst Trichter mit Wasser) und überbindet den Trichter mit Schweinsblase. Das Sinken des Niveaus im freien Schenkel des Glasrohres giebt alsdann die durch Verdunstung gehobene Wassermenge an, wobei allerdings die kleine im Glasrohre verdunstende Wassermenge, falls man nicht Quecksilber vorgezogen hat, in Abrechnung zu bringen wäre.

Fig. 19.



Apparat zur Ermittelung der verdunstenden Wassermenge (nach Detmer).

Fig. 18.

*a* Wasser; *b* Quecksilber.

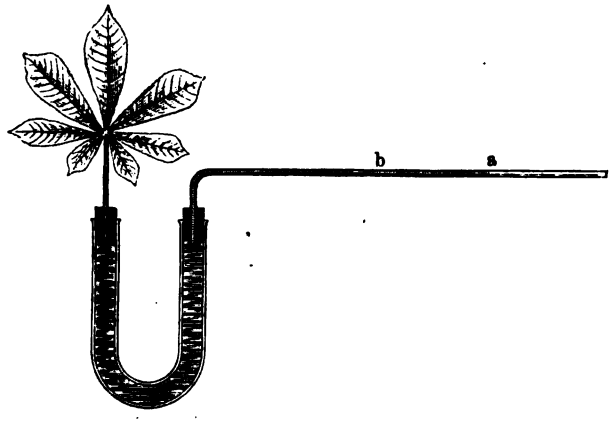
§ 15. In ähnlicher Weise, wie die Apparate in Versuch 18, verhalten sich abgeschnittene Blätter und Sprosse: sie verbrauchen und

heben durch Transpiration bedeutende, durch geeignete Apparate leicht demonstrierbare Wassermengen.

**Versuch 21.** Fig. 18 (a. v. S.). Ein beblätterter Sprofs mit holzigem Stengel — Himbeere etc. — wird durch einen gut passenden Gummipfropfen in dem einen Ende eines zum Teil mit Quecksilber, darüber mit Wasser gefüllten U-Rohres wohl befestigt. Das Niveau des Quecksilbers im freien Schenkel sinkt bald erheblich. Oder man benutzt den in Fig. 19 (a. v. S.) abgebildeten Apparat von Detmer.

**Versuch 22.** Fig. 20. Um auch an einzelnen Blättern die Verdunstungsgröfse mefsbar zu machen, verfährt man nach Mangin folgendermafsen. Ein Blatt mit glattem, rundem Stiel wird mittels Gummipfropfens fest in das eine Ende eines U-Rohres eingesetzt. Da

Fig. 20.




Apparat zum Nachweis der Menge des verdunstenden Wassers. Das Wasser weicht in dem wagerechten Rohre von *a* nach *b* und weiter zurück.

man die Röhre vorher ganz mit Wasser gefüllt und am andern Ende durch Gummipfropfen eine rechtwinkelig gebogene, enge Glasröhre mit langem, freiem Schenkel befestigt hat, so steigt beim Einsetzen des Blattes in das andere Ende der U-Röhre das Wasser in den freien, wagerechten Schenkel der dünnen Glasröhre. Selbst eine geringe Verdunstung durch das Blatt zeigt sich nun leicht an dem Zurückweichen des Wassers in der Glasröhre.

Gehobene Wassermenge und Gröfse der verdunstenden Blattfläche lassen sich in diesem Falle leicht vergleichen.

§ 16. Das Holz spielt bei der Leitung des Wassers in abgeschnittenen Sprossen eine bedeutende Rolle. Behandelt man wenig verholzte, zartblätterige Krautsprosse nach Versuch 19, so werden sie schlaff, selbst wenn hinreichend Wasser vorhanden ist. Ihr Turgor wird erst wieder

hergestellt, wenn man Wasser in sie hineinpreſst, und, was das Merkwürdigste ist, erhält sich nun ohne weiteres Zuthun, auch wenn allmählich das Niveau des Quecksilbers im freien Schenkel unter das des anderen Schenkels sinkt.

Fig. 21.

Wiederherstellung des Transpirationsvermögens durch Einpressen von Wasser (nach Sachs).

**Versuch 23.** Fig. 21. Man behandelt (nach Sachs) 20 bis 30 cm lange Sprofsgipfel von *Helianthus annuus* oder 40 bis 50 cm lange von *Aristolochia sipho* nach Versuch 21. Die Leitungsfähigkeit des Sprosses ist offenbar durch den Schnitt gestört, denn nach kurzer Zeit hängt der Sprofs schlaff herab. Bringt man aber die Leitung wieder in Gang, indem man in den freien Schenkel der U-Röhre Quecksilber gieſst, bis dessen Niveau im freien Schenkel höher steht als im geschlossenen, wodurch Wasser in den Stengel gepreſst wird, so transpiriert der vorher schlaffe Sprofs wieder in normaler Weise und wird straff. Hierbei sinkt das Niveau des Quecksilbers im freien Schenkel bis unter das des anderen.

§ 17. De Vries fand, daſs auch zarte, nicht verholzte Sprosse, in Wasser gesteckt, in gewöhnlicher Weise turgescieren, wenn man das Abschneiden derselben unter Wasser vornimmt. Offenbar ist die in den ohne diese Vorsichtsmaſsregel ausgeführten Schnitt eindringende Luft und vielleicht der beim Zerschneiden zarter Pflanzenteile austretende Schleim, der den Schnitt verklebt, Ursache der merkwürdigen Erscheinung.

Fig. 22.

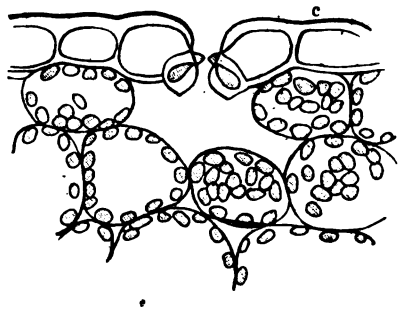
Durchschneidung eines wenig verholzten Sprosses (Symphytum) unter Wasser, um die atmosphärische Luft vom Eintritt in den Stengel abzuhalten.

**Versuch 24.** Fig. 22. Man biegt einen langen Sprofs einer wenig holzigen Pflanze, z. B. Symphytum, so, daſs eine 20 cm vom Gipfel entfernte Stelle unter das Wasser eines daneben gehaltenen Gefäſses taucht, während die Spitze des Sprosses sich über

Wasser befindet. Schneidet man nun unter Wasser den Sprofs durch, so bleibt er, wenn seine Schnittfläche unter Wasser gehalten wird, mehrere Tage frisch.

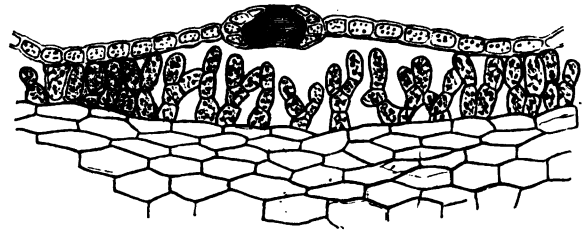
§ 18. Die Pflanzen transpirieren nicht durch die ganze Oberfläche der Blätter. Die Oberfläche der letzteren ist vielmehr zum gröfsten Teile durch eine für Wasser so gut wie undurchlässige Cuticula [1]), häufig auch noch durch einen über dieser angebrachten, für diesen Zweck noch wirksameren Wachsüberzug bedeckt, wodurch die Verdunstung des Wassers aus der Pflanze verhindert wird. Die Blätter transpirieren daher im wesentlichen durch die Wandungen der sogenannten Atemhöhlen, d. i. der Hohlräume, welche durch die Spaltöffnungen mit der äufseren Atmosphäre in Verbindung stehen (s. Fig. 23 und 24). Da die Spaltöffnungen von der Pflanze geöffnet oder geschlossen werden können, oder vielmehr infolge veränderter Gewebsspannung bei Wasserfülle der Schliefszellen sich öffnen, bei Schlaffheit derselben sich schliefsen, so ist durch diese Einrichtung die Pflanze befähigt, ihre Transpiration nach Bedarf zu vermehren oder zu vermindern.

Fig. 23.




Eine Spaltöffnung auf der Blattunterseite von *Iris florentina*. *a* Atemhöhle, *c* Cuticula (nach Strafsburger).

Fig. 24.



Verdunstungskammer von *Marchantia polymorpha*; 300 mal vergröfsert (nach Kerner v. Marilaun).

[1]) Dafs thatsächlich durch die Cuticula etwas Wasserdampf entweicht — natürlich je nach der Dicke derselben in verschiedenem Grade — kann man nach Detmer durch einen einfachen direkten Versuch nachweisen. Man legt nämlich ein Blatt von *Syringa vulgaris* (oder *Begonia*, *Acer platanoides*, *Ficus elastica*), dessen Blattoberseite erfahrungsmäfsig frei von Spaltöffnungen ist, und einen Objektträger nebeneinander in eine Krystallisierschale. Hierauf feuchtet man Kochsalz durch wenig Wasser etwas an, verteilt sowohl auf dem Syringablatte als auf dem Objektträger je eine kleine Menge desselben und

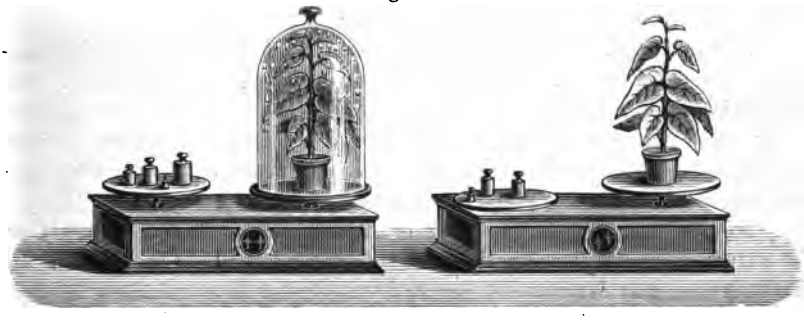
Die Spaltöffnungen finden sich entweder nur auf der Oberseite der Blätter, so bei allen Pflanzen, deren Blätter auf dem Wasser schwimmen, da deren Unterseite selbstverständlich nicht mit der Atmosphäre in Verbindung steht, oder sie finden sich nur an der Unterseite (*Ficus elastica*, *Acer platanoides*, *Syringa vulgaris*, *Begonia*), oder, was das häufigste ist, auf beiden Seiten zugleich, aber auf der unteren vorwiegend.

**Versuch 25.** Ein mit holzigem Stengel versehener Sprofs, dessen Blätter nur auf der Unterseite mit Spaltöffnungen versehen sind, wird wie in Versuch 21 behandelt. Hierauf werden sämtliche Blätter an ihrer Unterseite mit dicker Zuckerlösung oder Honig bestrichen. Die Verdunstung wird gehemmt, was aus dem unveränderten Niveau des Wassers oder Quecksilbers im andern Schenkel der U-Röhre hervorgeht.

§ 19. Die Transpiration wird durch Kälte, Feuchtigkeit, Ruhe und hohen Druck der Atmosphäre beeinträchtigt, durch die entgegengesetzten Momente erhöht.

**Versuch 26.** Fig. 25. Man bringt eine im Topfe gezogene, wohlbeblätterte Pflanze, z. B. eine Begonie, auf die eine Wagschale einer

Fig. 25.



Experiment, um die Verdunstung von Wasser durch die Blätter zu zeigen. Rechts ist eine Pflanze der freien Luft ausgesetzt; ihr Gewichtsverlust ist nach kurzer Zeit bedeutender, als der der linken, deren Verdunstung durch eine übergestülpte Glasglocke gehemmt ist (nach Mangin).

Wage, bedeckt den Blumentopf zum Schutze gegen Verdunstung mit einer passenden, in zwei Hälften geschnittenen Glastafel und stellt durch Gegengewichte das Gleichgewicht her. Nach einiger Zeit, etwa einer Stunde, beobachtet man, dafs die Gewichtsschale der Wage gesunken ist, und kann durch Auflegen der zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes notwendigen Gewichte die Gröfse der Transpiration direkt ermitteln. Bringt man hierauf dieselbe Pflanze bei denselben sonstigen Bedingungen (Licht, Wärme etc.) unter eine Glasglocke, so bemerkt man wohl an den

bedeckt die Krystallisierschale mit einer Glasplatte. Nach kurzer Zeit zerfliefst das auf das Blatt gebrachte Salz infolge des aus dem Gewebe diffundierten Wassers, während das Salz auf dem Objektträger relativ trocken bleibt.

längs der Wände der Glasglocke herabrinnenden Wassertropfen, dafs auch jetzt noch Transpiration stattfindet, aber auch beim Auflegen von Ausgleichungsgewichten nach Ablauf einer Stunde, dafs die Gröfse der Verdunstung gegen den ersten Versuch verringert ist (nach Mangin). Im zweiten Falle ist für Abfluſs des Wassers zu sorgen, da sonst das verdunstete Wasser mit gewogen wird und selbstverständlich eine Verringerung des Gewichtes nicht eintreten kann.

Auf ähnliche Weise kann man auch für die Einwirkung der Wärme den Beweis bringen; für Bewegung der Luft und veränderten Luftdruck ist dies mit gröfseren Schwierigkeiten verknüpft.

§ 20. Bedeckung von Pflanzenteilen mit einer Korklage, starker Cuticula, Wachsüberzug, natürlich auch eine im Verhältnis zur Masse geringe Oberfläche verhindern, resp. vermindern die Transpiration.

**Versuch 27.** Zwei Kartoffelknollen, zwei Zwiebeln und zwei Äpfel von möglichst gleichen Dimensionen werden gewogen und gleichen Verdunstungsbedingungen ausgesetzt, nachdem je ein Exemplar der Paare geschält ist. Die Wägung ergiebt nach einiger Zeit, dafs die geschälten Exemplare einen weit gröfseren Wasserverlust durch Verdunstung erlitten haben, als die ungeschälten.

**Versuch 28.** Sedum- und Kaktuspflanzen werden ohne Wasserzufuhr längere Zeit günstigen Verdunstungsbedingungen ausgesetzt. Ein merkliches Verwelken oder eine wesentliche Gewichtsverminderung tritt nicht ein. Die im Verhältnis zur Masse des Pflanzenkörpers geringe Oberfläche und die durch Abziehen demonstrierbare Dicke der Oberhaut verhindern nämlich die Wasserverdunstung in hohem Grade.

Nimmt man zu dem Versuche in Töpfen wachsende Exemplare [1]), so ist natürlich durch Bedeckung der Töpfe mit passenden Glasscheiben die Verdunstung von Wasser aus der Erde möglichst zu verhindern.

§ 21. Bei starker Verdunstung wird in den Hohlräumen der Pflanze ein negativer Luftdruck erzeugt, ein Beweis, dafs die Pflanze in diesem Falle nicht die der Verdunstung entsprechende Wassermenge durch die Wurzeln zu liefern vermag.

**Versuch 29.** Fig. 26. Im Hochsommer bohrt man in eine junge Birke ein bis zum Zentrum des Stammes reichendes Loch und befestigt in demselben mittels Wachs luftdicht den einen Schenkel eines rechtwinkelig gebogenen Glasrohres, dessen anderen, abwärts gerichteten Schenkel man in Wasser oder Quecksilber tauchen läfst. Die untergestellte Flüssigkeit steigt in dem Glasrohre mehr oder minder hoch empor. Der Gegensatz tritt im Frühjahre ein (vergl. Versuch 19).

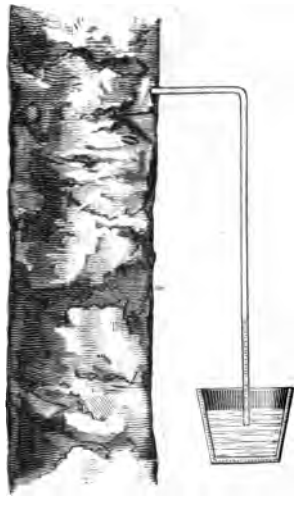
---

[1]) Es ist dies nicht nötig; man kann Exemplare, deren Wurzeln von Erde entblöfst sind, verwenden.

**Versuch 30.** Fig. 27 (a. f. S.). Man stellt einen holzigen Sprofs mit zarten Blättern (Lonicera) mit seinem abgeschnittenen unteren Ende in ein Gefäfs mit Wasser, schneidet dann die Spitze ab und setzt statt ihrer ein doppelt umgebogenes Glasrohr auf, welches mit seinem langen abwärts gerichteten Schenkel in ein Gefäfs mit Quecksilber taucht. Letzteres steigt nach kurzer Zeit im Glasrohre empor.

§ 22. Ueberwiegt die Transpiration die mögliche Wasseraufnahme seitens der Wurzel, weil entweder die Feuchtigkeit des Bodens dem Bedürfnis nicht genügt oder die Wurzel aus irgend einem Grunde (z. B. wegen Verletzung der Wurzelhaare bei unvorsichtigem Verpflanzen) ihre Funktion nicht in ausreichendem Mafse erfüllen kann, so welkt die Pflanze. Führt man dem Boden Wasser zu oder vermindert man die Transpiration, so wird der Turgor wieder hergestellt.

Fig. 26.



Birke im Hochsommer angebohrt. Die starke Transpiration hat negativen Luftdruck im Gewebe erzeugt.

Anmerkung. Deshalb werden Bäumen und Sträuchern beim Verpflanzen, womit immer eine Beschädigung der Wurzelhaare verbunden ist, die Äste verschnitten, um Wasseraufnahme und -abgabe möglichst ins Gleichgewicht zu bringen.

**Versuch 31.** Eine im Topfe gezogene und infolge mangelhaften Begiefsens welk gewordene Pflanze wird reichlich begossen. Sie erholt sich in überraschend kurzer Zeit, namentlich wenn man geeignete Objekte (Fuchsia etc.) wählt.

**Versuch 32.** Eine welk gewordene Topfpflanze wird ohne Wasserzufuhr unter eine Glasglocke gestellt. Auch in diesem Falle gelingt es, wenn sie nicht zu stark gewelkt war, den Turgor wieder herzustellen, da nun die Verdunstung gehemmt wird und den verminderten Ansprüchen durch die Wurzel meist noch genügt werden kann.

§ 23. Wenn anderseits die Wasseraufnahme durch die Wurzel (der Wurzeldruck) die Transpiration überwiegt, so tritt eine Ausscheidung flüssigen Wassers aus den Blättern auf.

Letzteres kann man im Freien häufig dann beobachten, wenn nach heifsen Tagen die Sonne untergegangen ist. Dann tritt schnelle Abkühlung und infolgedessen erhöhte Feuchtigkeit der Luft ein, während der Boden noch einige Zeit die Wärme behält und die Wurzel zu kräftigem Saugen anregt. An den Blatträndern von Kartoffelpflanzen, Gräsern, Alchemillen etc. sieht man dann Wassertropfen hervorquellen.

Häufig werden Wasserausscheidungen, die man abends und morgens an Pflanzenblättern beobachtet, für Tau gehalten, während sie in Wirklichkeit infolge verminderter Transpiration und überwiegender Wasserzufuhr durch die Wurzeln von den Pflanzen selbst hervorgebracht sind (vergl. Sachs, pflanzenphysiol. Vorlesungen, S. 333).

**Versuch 33.** Man kann an Maispflanzen, die man in Nährlösung kultiviert (Versuch 1), morgens schon ohne besondere Vorkehrungen eine reichliche Tropfenausscheidung an den Blatträndern beobachten, wenn man die Pflanzen an einem sonnigen Platze aufgestellt hat. Besser und auch an in Erde kultivierten Pflanzen gelingt dies, wenn man die Bedingungen für die Wasserausscheidung günstiger gestaltet. Man erwärmt

Fig. 27.

Apparat zum Nachweis des negativen Druckes der Gefäßluft (nach Detmer).

zu dem Zwecke Blumentöpfe, in welchen man jüngere Pflanzen von Mais, Alchemilla, Calla Aethiopica [1]) kultiviert hat, auf 20 bis 25° und stülpt, ohne jedoch den Luftzutritt zu hindern, eine Glasglocke darüber (Sachs, pflanzenphysiol. Vorl., S. 333).

§ 24. Wurzeldruck (Diffusionskraft) und Transpiration vermögen sich periodisch zu vertreten. In der Regel ist der erstere am stärksten dann, wenn die Transpiration noch schwach ist, z. B. bei Holzpflanzen im Frühjahre, wenn das Laub sich eben erst anfängt zu entwickeln.

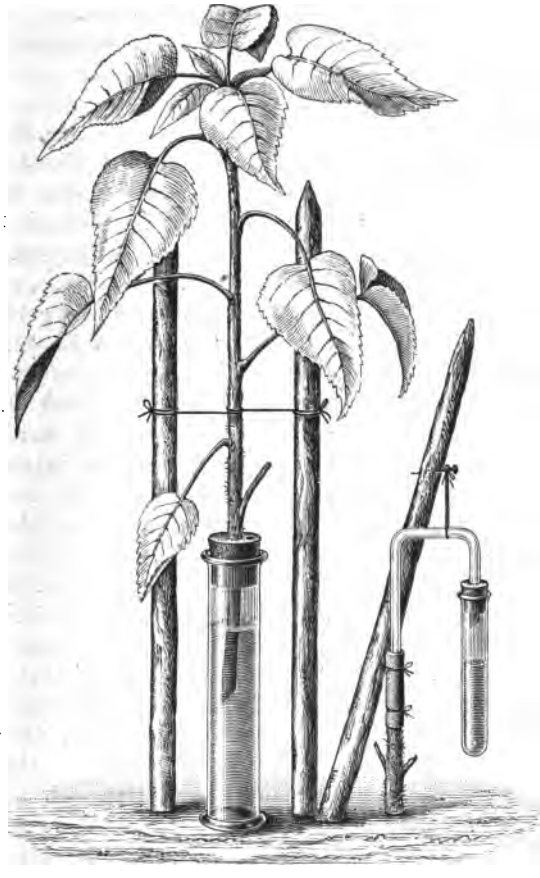
---

[1]) Die Aroideen scheiden besonders reichlich Wasser aus.

Der Wurzeldruck wird aber gewöhnlich in demselben Maſse geringer, als die Transpiration zunimmt. Man kann beide Kräfte zusammen in Wirksamkeit sehen und ihre Leistungen miteinander vergleichen, wenn man schnell wachsende krautige Pflanzen in der kräftigsten Entwickelung abschneidet und den Wurzeldruck des unteren und die Transpirationskraft des oberen Teiles mißt (vergl. Kerner v. Marialaun, Pflanzenleben 1, 259).

**Versuch 34.** Man schneidet mit einem scharfen Messer den Stengel einer kräftigen Helianthuspflanze dicht über dem Boden durch; den oberen Teil läſst man mit seinem unteren Ende in einen mit Wasser gefüllten Maſscylinder tauchen, den unteren Teil verbindet man durch ein Stück Gummischlauch mit einer doppelt rechtwinkelig gebogenen Glasröhre, deren abwärts gerichteter Schenkel in ein Reagenzglas taucht. Steigt durch den Wurzeldruck der Saft der Pflanze in dem Glasrohre in die Höhe, so sammelt sich derselbe im Reagenzglase, und man kann dessen Inhalt mit der durch Verdunstung vom oberen Pflanzenteile gehobenen Wassermenge vergleichen.

Fig. 28.



Vergleichung der Gröfse der Transpiration und des Wurzeldruckes an einer im Freien gewachsenen Sonnenrose.

§ 25. Die Pflanzen vermögen dem Boden weder durch die Kraft der Diffusion noch durch Transpiration den gesamten Wassergehalt zu entziehen. Sie welken daher schon, wenn anscheinend noch genügend Wasser im Boden ist. Die

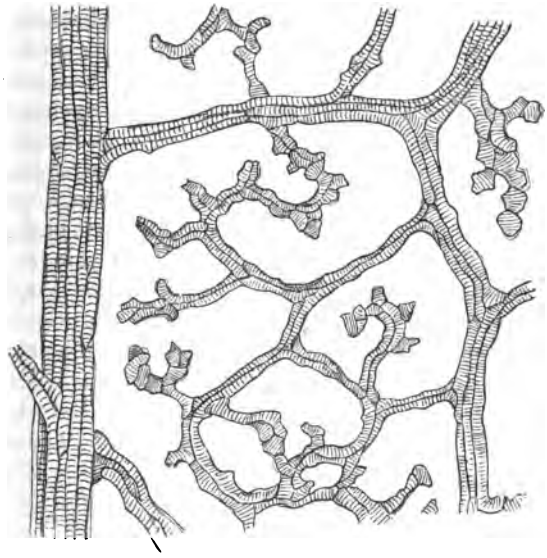
Wasserentziehung erreicht schliefslich eine Grenze, jenseits welcher die Kapillaranziehung der Bodenteilchen für Wasser gröfser ist, als die Gesamtwirkung der Diffusions- und Verdunstungskraft.

**Versuch 35.** Man kultiviert eine Pflanze, z. B. eine Bohne, in einem mit guter Gartenerde gefüllten Topfe und bringt dieselbe, nachdem die ersten Blätter nach den Keimblättern (die Primordialblätter) sich wohl entwickelt haben, in einen vor direktem Sonnenlichte geschützten Raum, in welchem die Pflanze, ohne begossen zu werden, bleibt, bis sie welk geworden ist. Nun entnimmt man dem Boden an einer Stelle, welche gut durchwurzelt ist, eine Probe von mehreren Gramm und bestimmt hierauf deren Trockengewicht bei 100°. Es zeigt sich, dafs der Boden noch einen erheblichen Prozentsatz von Wasser enthielt, obwohl die Pflanze nicht mehr im stande war, aus demselben ihre, obwohl beschränkte, Verdunstung zu bestreiten.

§ 26. Eine Frage von grofser Wichtigkeit ist die nach der Bedeutung und dem Nutzen der Transpiration für den Haushalt der Pflanzen. Seit Boussingault (1844) sind die namhaftesten Botaniker der Ansicht, dafs durch die Transpiration nicht nur Wasser in enormen Quantitäten, sondern auch die in diesem Wasser gelösten Nährsalze in die Blätter gehoben werden. Indem nun hier, sagen sie, „wie in einer Krystallisierschale", das Wasser verdunstet, bleiben die gelöst gewesenen Salze zurück und werden von der Pflanze in den Blättern verwendet, d. h. in andere dem Leben dienende Verbindungen umgebildet. Diese Ansicht setzt selbstverständlich voraus, dafs eben durch die Transpiration ein mit Salzen beladener Wasserstrom erzeugt werde. Gründliche Beweise dafür sind nirgends zu finden. Kerner v. Marilaun sagt z. B. wörtlich: „In derselben Weise (wie eine Salzlösung in einer Krystallisierschale) aber wird infolge der Verdampfung auch der Inhalt einer mit Luft in Berührung stehenden Zelle konzentrierter und erhält damit die Fähigkeit, aus der Umgebung Flüssigkeit anzuziehen, beziehentlich anzusaugen. Schliefsen nun zwei Zellen aneinander, deren Zellen denselben Konzentrationsgrad besitzen, und kommt nur eine in die Lage, Wasser auszudunsten, so wird dadurch der bisherige Gleichgewichtszustand zwischen beiden gestört. Es herrscht aber das Bestreben, das Gleichgewicht wieder herzustellen, und es nimmt die Zelle, deren Säfte durch Verdampfung des Wassers konzentrierter geworden sind, wässerige Flüssigkeit aus der Nachbarzelle auf. Denkt man sich nun eine Kette saftreicher Zellen, welche durch filtrationsfähige Wände miteinander verbunden sind, in der Weise gelagert, dafs nur das oberste Endglied der Kette an die atmosphärische Luft angrenzt, so wird der durch Ausdunstung konzentrierter gewordene Saft dieser obersten Zelle zunächst auf die unmittelbar angrenzende tiefere Zelle eine Saugwirkung ausüben. Indem aber dieser zweiten Zelle Flüssigkeit entzogen wird, erfährt auch ihr Saft eine Konzentration, und sie übt infolgedessen

auf die dritte, diese in ähnlicher Weise auf die vierte, fünfte, sechste etc. Zelle nach abwärts eine saugende Wirkung aus. So entsteht eine Unzahl von Ausgleichsströmungen zwischen den benachbarten Zellen, welche aber so lange, als die mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehende oberste Zelle Wasser ausdunstet, niemals zu einem wirklichen vollständigen Ausgleiche führen, sich vielmehr zu einem einzigen aufwärts gerichteten Strome kombinieren." Faſst man das hier Gesagte zusammen, so wird durch Verdunstung aus den die Atmosphäre berührenden, nicht kutikularisierten Zellwänden Wasser entfernt und aus den anstoſsenden Zellen durch Diffusion ergänzt; der Transpirationsstrom ist hier lediglich auf Diffusion zurückgeführt. Genauer beschäftigt sich Sachs[1]) mit dieser wichtigen Frage. Er erklärt zunächst auf Grund seiner mit Lithiumsalzlösung gemachten Beobachtungen, daſs, wie Lithiumsalz, auch andere Salze mit so groſser Geschwindigkeit aufsteigen, daſs diese Beweglichkeit durch Diffusion nicht zu erklären ist, mithin ein mit Salzen beladener Wasserstrom von groſser Geschwindigkeit in der Pflanze angenommen werden muſs, welcher die Salze bis an die Parenchymzellen der Blätter heranbewegt. Hier dringt das salzhaltige Wasser in die Poren resp. Molekularinterstitien der Membranen und stellt so beides, Wasser und Salze, den Zellen zum Gebrauch zur Verfügung (siehe Fig. 29). Nun aber kommt der wunde Punkt. Er sagt nämlich weiter: „Braucht eine der Zellen Wasser, so findet sie es zunächst in ihrer Wand, braucht sie dagegen eine Anzahl von Salzmolekülen, so sind auch diese im Wasser der Zellwand enthalten und können sofort in das Innere eintreten." Damit kommen beide bedeutende Botaniker schlieſslich auf den Punkt, den Lürssen schon 1877 in seinen Grund-

Fig. 29.



Verholzte, wasserleitende Spiralfaserzellen in der Nervatur des Blattes von *Anthyllis vulneraria*. Die Zwischenräume der von ihnen umschlossenen Areolen sind mit dem transpirierenden Assimilationsgewebe ausgefüllt (nach Sachs).

[1]) Pflanzenphysiol. Vorl., S. 303 bis 305.

zügen der Botanik hervorhebt, dafs nämlich nur das wirklich von der Pflanze Gebrauchte, sei es Wasser, seien es Salze, in die arbeitenden Parenchymzellen der Blätter eintritt. Wäre dies nicht so, träten die durch den Wasserstrom mechanisch mitgeführten Salzmoleküle, zum Teil ohne in der Zelle gebraucht zu werden, in diese ein, so wäre eine Anhäufung unbrauchbarer Stoffe in dieser gar nicht zu vermeiden, was nicht anzunehmen ist. Nehmen wir an, Sachs hätte seinen Versuchspflanzen salpetersaures Lithium eine längere Zeit hindurch geboten und seine Theorie von den durch Verdunstung des Wassers in die Blätter beförderten Salzen wäre richtig, so müfste der Verdunstungsstrom, ohne sich darum zu kümmern, dafs ja das Lithiumsalz in den Blättern gar nicht verwendet wird, dies Salz immer weiter aus den Wurzeln entfernen und heben. Die Wurzeln aber, vom Lithium befreit, müfsten, den Diffusionsgesetzen entsprechend, in demselben Mafse Lithiumsalz nachsaugen. Der Kernersche Vergleich mit einer Krystallisierschale, wonach durch Verdunstung eine konzentriertere Salzlösung in den Blättern entsteht, ist sonach durchaus unrichtig, ebenso die ganze Boussingaultsche Ansicht. Noch ein Moment aber ist hier zu erwägen, auf das nirgends hingewiesen wird. Durch die Verdunstung kann den physikalischen Gesetzen zufolge das Wasser nur bis zur Höhe von 10 m gehoben werden. Ist die Höhe gröfser oder ist — was ja an lebhaft transpirierenden Pflanzen im Sommer beobachtet wird — der in der Pflanze herrschende Luftdruck geringer als der äufsere, so wirkt das Pumpwerk nicht, oder doch nicht vollkommen. Ferner nehmen auch die Wurzeln anscheinend nur nach den Diffusionsgesetzen Stoffe aus dem Boden auf. Was würde also eine noch so schnelle Bewegung der Salze im Holze aufwärts anders befördern können, als was die Wurzeln bereits durch Diffusion aufgenommen haben? Die Aufnahme und Abgabe der Stoffe geschieht also durch Diffusion, eine dazwischen herrschende schnelle Strömung kann höchstens als eine die Diffusion beschleunigende Zug- resp. Druckkraft wirken.

Ob der Verdunstungsstrom als Transportmittel für Nahrungssalze anzusehen und ob darin seine Hauptaufgabe zu suchen ist, läfst sich auch experimentell beweisen. Man zieht zwei möglichst gleiche Feuerbohnen in gleich zusammengesetzter Nährlösung in gleich grofsen Gläsern unter sonst gleichen Bedingungen, nur dafs man die eine mit einer die Verdunstung beschränkenden (natürlich den Luftzutritt nicht hindernden) Glasglocke bedeckt, während die andere Pflanze frei steht. Nach einiger Zeit prüft man die Nährlösungen auf ihren Gehalt an Salzen. Ist die schwächer verdunstende Pflanze ebenso gut gediehen und hat sie annähernd ebenso viele Salze verbraucht, als die stärker verdunstende, so ist die Hinfälligkeit der Ansicht bewiesen, dafs, wenigstens für ähnliche Pflanzen, zur Beförderung der Nährsalze die Transpiration notwendig sei.

Die Erfahrung, dafs grün belaubte Pflanzen, wenn sie längere Zeit in einem dunstgesättigten Raume gehalten werden, nicht weiter wachsen,

sondern krank werden, die Blätter verlieren und zu Grunde gehen (Kerner v. Marialaun, 1, 260), beweist nur die Notwendigkeit der Transpiration für die Pflanze überhaupt, aber nicht für die Beförderung der Nährsalze. Auch Tiere und Menschen bedürfen der Transpiration und werden krank, wenn sie unterdrückt wird. Hier dient dieselbe offenbar zum Teil als Wärmeregulator; warum nicht auch bei den Pflanzen?

§ 27. Es sind in den vorhergehenden Paragraphen zwei Kräfte zur Besprechung gelangt, welche für die Bewegung von flüssigen Stoffen in der Pflanze thätig sind, die Diffusion und die Transpiration. Dafs die letztere nicht ausreicht, wenn es sich darum handelt, Wasser in gröfsere Höhe als 10 m zu heben, ist im vorigen Paragraphen hervorgehoben worden. Die Diffusion aber ist — theoretisch betrachtet — ohne Zweifel im stande, auch den weitgehendsten Anforderungen an die Hebekraft zu genügen. Man mufs sich nur klar werden darüber, dafs, wenn in einer hoch oben im Baume befindlichen Zelle ein Stoffteil verbraucht wird, sogleich aus der nach unten nächsten Zelle derselbe Stoff durch Diffusion nachdringt u. s. f. Der oben verschwindende Stoffteil hebt also nicht einen tief unten befindlichen plötzlich in eine Höhe von 10, 40 und mehr Meter empor, sondern nur den in der zunächst nach unten liegenden Zelle. Es ist daher bei Diffusionserscheinungen ganz gleich, ob eine Pflanze 1 cm oder 100 m hoch ist. Jede Zelle hat es nur mit der zunächst liegenden zu thun, und diese hält sich an der dritten für den erlittenen Verlust schadlos. Die Möglichkeit der sogenannten „Klettertheorie", die lediglich die Diffusion als treibende Kraft annimmt, ist hiernach ersichtlich. Ob sie in der That, wie neuere Forscher behaupten, die alleinige Salze hebende und befördernde Kraft ist, bleibt allerdings noch zu beweisen.

Die alte Kapillarröhrentheorie, wonach in den engen Röhren des Pflanzenkörpers die Kapillarkraft den Saft steigen läfst, ist teils wegen der grofsen Reibung, die in so engen Röhren stattfinden müfste, verworfen worden, teils ist sie, wenigstens bei Bäumen, zu gewissen Zeiten unmöglich, weil in der stärksten Wachstumsperiode gerade die im Stamme vorhandenen röhrenförmigen Pflanzengebilde mit Luft erfüllt sind (vergl. Sachs, S. 284 u. 285) und viele kräftige Bäume (Koniferen) überhaupt keine Röhren besitzen. [Trotzdem tritt Böhm (Bot. Zentralblatt 1890, Nr. 21 und 22) dafür ein.] Viele Erscheinungen lassen sich aber weder durch Diffusion noch durch Transpiration erklären. Zunächst ist die Diffusion an Parenchym- oder andere mit flüssigem Inhalt erfüllte Zellen gebunden, die man in vielen Baumstämmen, wenigstens im leitenden Teile, vermifst. Sodann beweisen die Sachsschen Versuche über die Bewegung von Wasser und salpetersaurem Lithium im Holze, dafs unter Umständen diese Bewegung schneller ist, als dafs sie durch Diffusion zustandekommen kann. Endlich ist in vielen Fällen mechanischer

Druck von Wichtigkeit, wie folgende Sachs'sche Versuche beweisen.

**Versuch 36.** Wenn man Milchsaft führende Pflanzen (Euphorbien, Sonchus, Chelidonium) durchschneidet, so quillt der Milchsaft nicht nur aus der oberen, sondern auch aus der unteren Schnittfläche so kräftig heraus, dafs unbedingt ein mechanischer Druck auf die Milchsaftgefäfse von den Seiten her ausgeübt werden mufs (Sachs, S. 436).

**Versuch 37.** Man durchschneidet den frischen Stamm einer Kürbispflanze oder anderer recht saftiger Krautpflanzen. Der alkalisch reagierende Inhalt der Siebbündel quillt in Form von Tropfen hervor, welche langsam an Gröfse zunehmen und bis zu Erbsengröfse anwachsen, worauf sie gewöhnlich gerinnen. Diese relativ grofsen Schleimmassen können nicht in den zufällig durchschnittenen Gliedern der Siebröhren enthalten gewesen, sondern müssen aus gröfserer Entfernung herausgepreſst sein (Sachs, S. 435).

§ 28. Sind sonach die saftbewegenden Kräfte im Pflanzenkörper noch sehr ins Dunkle gehüllt, so sind anderseits die Bahnen, welche die Säfte nehmen, besser bekannt. Es handelt sich um zwei Strömungen. Von den Wurzeln aus müssen die aufgenommenen anorganischen Nahrungsstoffe nach den Stellen, wo sie in organische Substanz umgewandelt werden sollen, also, wie später (s. Abschnitt: Assimilation) gezeigt werden soll, nach den Blättern geschafft werden. Die hier gebildeten, nicht an Ort und Stelle verbrauchten Verbindungen sollen an anderen Stellen, namentlich in Wurzel und Stamm, Verwendung finden, müssen also hierhin geleitet werden. Es findet demnach im allgemeinen ein von den Wurzeln nach den Blättern hin gerichteter, im wesentlichen aufsteigender Strom, und umgekehrt ein von den Blättern nach den Neubildungen der Sprosse und Wurzeln hin gerichteter, ein sogenannter absteigender Strom statt. Ersterer enthält die rohe, anorganische, dem Boden entnommene Nahrungsflüssigkeit, letzterer die in den Blättern unter Einwirkung von Luft und Sonne zustandegekommenen Lösungen organischer Verbindungen. Nächst der Frage nach den bewegenden Kräften, die im vorigen Paragraphen erörtert ist, handelt es sich nun darum, zu entscheiden, in welchen Pflanzenteilen die beiden Ströme ihren Gang nehmen.

§ 29. Der aufsteigende Strom findet im Holzkörper der Sproſsaxen statt, denn wenn man an geeigneten Versuchsobjekten, nämlich solchen, bei denen eine genügend scharfe Trennung von Phloëm und Xylem mechanisch vorgenommen werden kann, durch Ringelung des Stammes oberhalb des Wurzelhalses Rinde und Phloëm eine Strecke weit entfernt, so tritt eine wesentliche Störung der Gesamtentwickelung der Pflanze in längerer Zeit nicht ein (Stephan Hales, 1727).

**Versuch 38.** Fig. 30, 31, 32. An einer in einem grofsen Topfe gezogenen Weidepflanze oder, wenn man freies Land zur Verfügung hat,

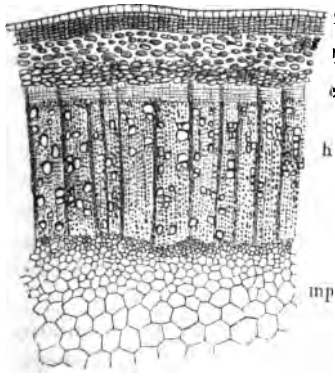
an irgend einer Holzpflanze, z. B. an Hollunder, wird in der Weise die Verbindung des Stamm- und Wurzelphloëms unterbrochen, dafs man

Fig. 30.

Diesjähriger Schöfsling von *Sambucus nigra*, geringelt, um zu zeigen, dafs der aufsteigende Strom im Holze verläuft. Der obere Stammteil ist dicker geworden als der untere, ein Beweis, dafs der obere, mit Bildungsstoffen beladene Strom zum unteren Teile der Pflanze nicht gelangen konnte.

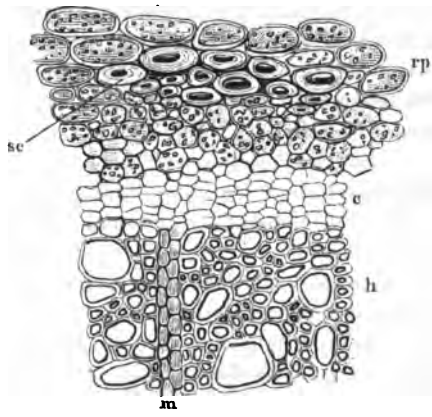
oberhalb der Erde eine mehrere Zentimeter breite Zone von Rinde und Phloëm bis auf das Holz mit dem Messer entfernt. Da man sich hierbei sorgfältig hüten mufs, das Holz zu verletzen, so mufs man mehr schabend als durch kräftigen Querschnitt die Zellen zu entfernen suchen. Das Wohlbefinden der Pflanze wird dann erst nach längerer Zeit, wenn nämlich das Wurzelsystem infolge der Unterbrechung des absteigenden Stromes an mangelhafter Ernährung krankt, eine Störung zeigen.

Fig. 31.




Querschnitt durch einen einjährigen Schöfsling von *Sambucus nigra*, schwach vergröfsert (ca. 15). *e* Epidermis; *k* Kork; *rp* Rindenparenchym, zum Teil Kollenchym; *c* Kambium; *h* Holz; *mp* Markparenchym.

Fig. 32.




Stück aus dem Querschnitt eines Hollunderstammes, das Kambium mit dem anstofsenden Rinden- und Holzteil zeigend. *rp* Rindenparenchym; *sc* Sklerenchymfasern; *c* Kambium; *h* Holz; *m* Markstrahl. Vergr. 120.

**Versuch 39.** Ein 2 bis 3 cm dickes Stück eines Weidenzweiges wird einige Centimeter oberhalb seines unteren Endes wie im vorigen Versuche geringelt und mit diesem Ende in Wasser gestellt, welches jedoch nicht über die geringelte Stelle reicht. Der Zweig entwickelt teilweise seine Knospen, treibt aber keine oder nur ganz unzureichende Wurzeln, nämlich nur so viele, als es der unterhalb der Ringelung im Phloëm enthaltene Bildungsstoff gestattet.

§ 30. Der absteigende Strom findet im Phloëm statt.

**Versuch 40.** Ein wie im vorhergehenden Versuche behandelter Weidenzweig wird so in Wasser gestellt, dafs dies die geringelte Stelle ganz bedeckt. Es bilden sich nun nicht nur in normaler Weise die Astknospen aus, sondern auch am unteren Ende Wurzelfasern, letztere aber nur in dem oberhalb der Ringelung befindlichen Teile, soweit er von Wasser bedeckt ist, ein Beweis, dafs dahin die in den Blättern gebildeten organischen Baustoffe zu dringen vermögen, nicht aber in den unterhalb der Ringelung befindlichen Teil.

---

## III. Die Assimilation.

§ 31. Unter Assimilation versteht man die nur den Chlorophyllkörpern eigentümliche Thätigkeit, durch welche aus anorganischen Salzen des Bodens, Wasser und Kohlensäure der Atmosphäre bei Lichteinwirkung organische Substanz gebildet wird, die durch entsprechende Umwandlungen zur Unterhaltung des Lebens fähig ist. Die Chlorophyllkörper bestehen aus lebendem Protoplasma, welches durch einen eigentümlichen grünen Farbstoff, das Chlorophyll, gefärbt ist. Bisweilen wird der grüne Farbstoff durch andere Farbstoffe so verdeckt, dafs er zu fehlen scheint (Fucoideen, Florideen), ohne dafs doch seine Wirksamkeit dadurch beeinträchtigt wird.

Die Assimilation ist, vom chemischen Standpunkte betrachtet, ein Reduktionsprozefs, indem durch dieselbe aus Kohlendioxyd sauerstoffärmere Kohlenstoffverbindungen entstehen und überflüssiger Sauerstoff abgeschieden wird. Die Energie derselben läfst sich daher im allgemeinen durch den Verbrauch von Kohlendioxyd und durch die abgeschiedene Sauerstoffmenge bestimmen.

Kein organisches Wesen ist ohne den Vorgang der Assimilation, also ohne das Vorhandensein der sie hervorbringenden Kräfte — lebendes Protoplasma, Chlorophyll, Licht, Kohlendioxyd, Wasser — denkbar; diejenigen Organismen, welche den Prozefs nicht selbst vorzunehmen im stande sind, decken ihren Bedarf an organischer Substanz durch Aussaugen oder Verzehren der dazu befähigten Klassen, sie sind teils

Schmarotzer (z. B. Pilze), teils direkte oder indirekte Pflanzenfresser (pflanzenfressende und Raubtiere).

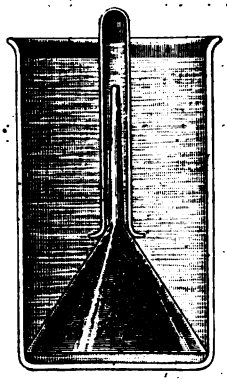
§ 32. Für die Assimilation ist die Einwirkung des Lichtes auf die Pflanze notwendig. Bei Zutritt desselben findet unter normalen Bedingungen eine Gewichtszunahme der Pflanzen statt, während dieselben Pflanzen, im Dunkeln kultiviert, eine Gewichtsabnahme zeigen (s. Atmung).

**Versuch 41.** Einige Maiskörner werden gewogen, in feuchten Sägespänen zum Keimen gebracht und hierauf wie in Versuch 1 in Nährlösung kultiviert, wobei man die einen durch einen Pappkasten verdunkelt, die anderen dem Wechsel von Tag und Nacht aussetzt. Nach vier bis fünf Wochen werden die Versuchspflanzen aus den Gefäfsen genommen, an der Luft unter gleichen Bedingungen getrocknet und gewogen. Es zeigt sich, dafs die im Dunkeln gehaltenen Exemplare an Gewicht verloren, die unter normalen Beleuchtungsverhältnissen gewachsenen an Gewicht zugenommen haben.

§ 33. Unter dem Einflusse des Lichtes wird von grünen Pflanzenteilen Sauerstoff abgeschieden; je intensiver das Licht, um so lebhafter ist die Abscheidung (Jan Ingenhousz, 1779).

**Versuch 42.** Fig. 33. Einen nicht zu kleinen Glastrichter füllt man mit lebhaft grün gefärbten Elodeasprossen von etwa 8 bis 10 cm Länge, stülpt den Trichter umgekehrt in ein weites, mit frischem Brunnenwasser gefülltes Gefäfs und über die obere Mündung des Trichters ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas. Das Ganze setzt man dem direkten Sonnenlichte aus. Es dauert nicht lange, so sieht man, dafs im oberen Teile des Reagenzglases sich ein Gas ansammelt, das, wie sich mittels eines glimmenden Spans nachweisen läfst, aus Sauerstoff besteht.

Fig. 33.



Apparat zur Entwickelung von Sauerstoff durch Elodeasprosse im Lichte (nach Detmer).

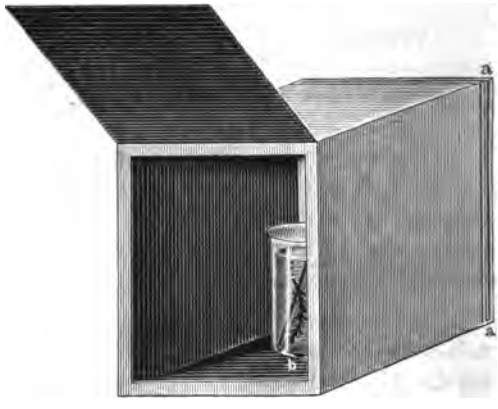
**Versuch 43.** Fig. 34 (a. f. S.). Ein Elodeasprofs von 10 cm Länge wird mit seinem oberen Ende an einen Glasstab gebunden und in ein Gefäfs mit frischem Brunnenwasser oder mit Wasser, dem etwas Selterwasser zugefügt ist, getaucht, so dafs sein abgeschnittenes, in die Höhe stehendes Ende noch mit Wasser überdeckt ist. Setzt man den Apparat in direktes Sonnenlicht, so beginnen sofort aus dem abgeschnittenen Ende Gasblasen — nach vorigem Versuch Sauerstoff — aufzusteigen, die man zählen kann. In diffusem Lichte oder wenn man die Lichtintensität durch eine oder mehrere vorgesetzte Milchglasplatten (Fig. 35) verringert, wird die Zahl der in einer Minute emporsteigenden Gasblasen kleiner, so dafs deutlich die Abhängigkeit der Assimilation vom Lichte erkennbar wird.

§ 34. Nicht alle Lichtstrahlen des Spektrums kommen für die Assimilation in Betracht. Man hat gefunden, dafs nur die Farben vom Rot bis zur Hälfte des Grün wirksam sind, die dunkeln — Blau, Indigo, Violett — nicht. Die sogenannten chemisch wirksamen Strahlen sind

Fig. 34.

Wirkung des Lichtes auf die Sauerstoffabsonderung eines abgeschnittenen Elodeasprosses.

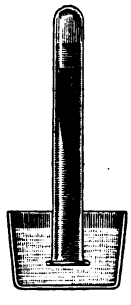
Fig. 35.



Pappkasten, inwendig schwarz, in welchen bei *a a* Milchglasscheiben eingesetzt werden können, um den Sprofs *b* abgeschwächtem Licht von verschiedener Intensität aussetzen zu können.

hier also gerade die unwesentlichen. Es zeigt sich hieraus, dafs die letzteren eben nur für gewisse chemische Prozesse förderlich sind. Alle Lichtstrahlen sind chemisch wirksam, aber die einen für andere Prozesse als die anderen.

Fig. 36.



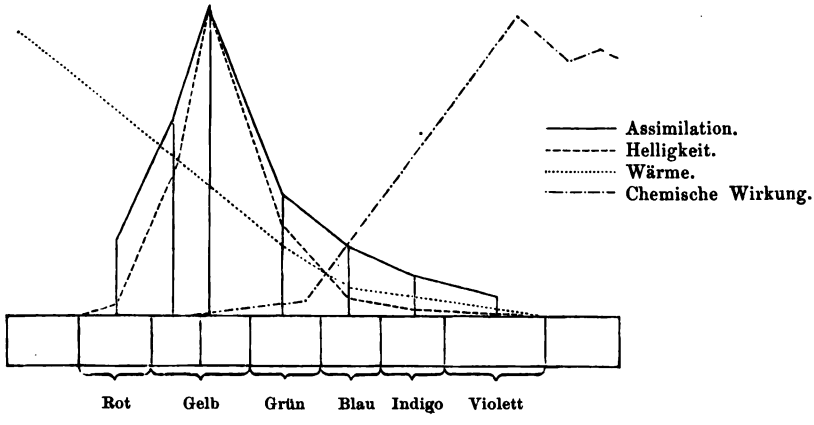
Apparat, um die Sauerstoffabscheidung bei Einwirkung verschiedener Strahlen des Spectrums zu prüfen (nach Mangin).

**Versuch 44.** Fig. 36 und 37. Man bringt in gleiche Probiergläschen, die mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllt sind, annähernd gleich grofse Blätter (z. B. von Gräsern, Bambus etc.), stülpt die Gläser, mit dem Daumen verschlossen, in je ein mit Wasser gefülltes Wännchen und setzt die Gläser den verschiedenen Farben eines durch Sonnenlicht erzeugten Spektrums aus. Die nach einiger Zeit oben in den Gläschen sich ansammelnde Gasmenge giebt einen Mafsstab für die Wirksamkeit der verschiedenen Lichtstrahlen auf die Assimilation (Draper 1844). Einfacher noch ist es, den Versuch 43 unter der Einwirkung der verschiedenen Lichtstrahlen des Sonnenspektrums vorzunehmen und die in einer Minute aufsteigenden Sauerstoffbläschen zu zählen. Das Resultat ist ein bedeutend genaueres und entspricht der Fig. 37.

**Versuch 45.** Fig. 38 und 39. Da eine wässerige Lösung doppeltchromsauren Kalis ($K_2Cr_2O_7$) bei passender Konzentration resp.

Dicke der Schicht gerade die sämtlichen sogenannten chemisch wirksamen Strahlen des Sonnenlichtes absorbiert, während umgekehrt eine

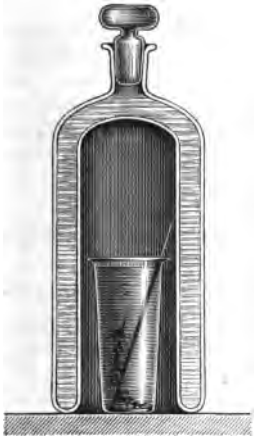
Fig. 37.




Assimilationsgröfse der verschiedenen Strahlen des Spektrums nach Pfeffer (1870).

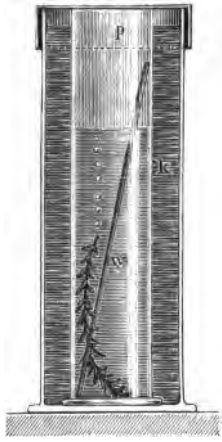
Lösung von Kupferoxydammoniak[1]) nur die blauen und die indigofarbenen Lichtstrahlen hindurchtreten läfst, so kann man zweckmäfsig diese beiden Flüssigkeiten verwenden, um die assimilatorische Wirkung des Sonnenlichtes zu demonstrieren. Am besten benutzt man zwei doppelwandige Glasglocken[2]) (Fig. 38), von denen die eine mit Kaliumbichromat-, die andere mit Kupferoxydammoniaklösung von solcher Konzentration gefüllt ist, dafs keine Strahlen des nicht gewünschten Spektrumteiles hindurchdringen, wovon man sich mit dem Spektroskop überzeugt.

Fig. 38.



Doppelwandige Glasglocke, um die Wirkung verschiedenen Lichtes auf die Assimilation zu prüfen.

Fig. 39.




Doppelwandiges Glasgefäfs. *k* Kaliumbichromatlösung; *w* Wasser; *p* Pappdeckel.

[1]) Man stellt diese Lösung dar, indem man in eine wässerige Kupfersulfatlösung so lange Ammoniak giefst, bis sich der anfänglich entstandene Niederschlag mit tiefblauer Farbe löst.

[2]) Bezugsquellen: R. Müncke, Berlin, NW. Luisenstr. 58, und Desaga, Heidelberg.

Setzt man einen Elodeasprofs in Wasser nacheinander dem vollen Sonnenlichte, dem durch doppeltchromsaures Kali und dem durch Kupferoxydammoniak gegangenen Sonnenlichte aus, so beobachtet man in den beiden ersten Fällen eine lebhafte, annähernd gleiche Sauerstoffentwickelung, im letzteren Falle entweder gar keine, oder eine verschwindend kleine.

Hat man keine der beschriebenen Glasglocken zur Verfügung, so kann man sich durch zwei cylindrische Glasgefäfse helfen, von denen das eine so viel weiter ist als das andere, dafs, wenn man das kleinere in das gröfsere stellt und darin entsprechend durch Korke befestigt, zwischen beiden Wandungen ein möglichst gleicher Zwischenraum von etwa $1^1/_2$ bis 2 cm bleibt. Man füllt nun den Zwischenraum mit entsprechender Lösung, den inneren Glascylinder mit kohlensäurehaltigem Wasser, und bringt in den letzteren den zu beobachtenden Pflanzensprofs. Um von oben einfallendes Sonnenlicht abzuhalten, bedeckt man den Apparat mit einem locker schliefsenden Pappdeckel (Fig. 39, a. v. S.).

Auch den in Fig. 35 dargestellten Pappkasten kann man benutzen. Man versieht ihn bei *aa* statt der Milchglasscheiben mit einem der zu Bunsenschen Elementen gebräuchlichen parallelwandigen Glasgefäfse, welches man mit der Absorptionsflüssigkeit gefüllt hat.

Mit gefärbten Glasscheiben kann man nur annähernd reines Licht erhalten.

Anmerkung. Es könnte hier jemand einwerfen, dafs lediglich der Grad der Helligkeit des Lichtes mafsgebend zu sein scheint, denn das durch Kupferoxydammoniak gegangene Licht erscheint unserem Auge im Vergleich zu dem hellen Teile des Spektrums sehr dunkel. Man hat leider kein Mittel, um Hell und Dunkel verschiedener Farben gegeneinander abzuschätzen. Es ist aber auch in diesem Falle nicht nötig. Es genügt, zum Unterschiede die beiden Lichtarten auf Chlorsilberpapier einwirken zu lassen, um zu zeigen, dafs der dunkle Teil des Spektrums sehr wohl wirken kann, nicht mit einer einfachen Verdunkelung des Sonnenlichtes identisch ist.

§ 35. Chlorophyll ist für die Assimilation notwendig; etiolierte Sprosse assimilieren nicht.

**Versuch 46.** Der Versuch 42 wird mit bleichen, im Dunkeln aufgewachsenen Sprossen angestellt. Die Sauerstoffentwickelung beginnt erst, nachdem sich in den Blättern Chlorophyll unter Einwirkung des Lichtes gebildet hat.

§ 36. Da die Kohlensäure der Atmosphäre, durch die Spaltöffnungen in das Innere der Pflanzen gelangt, unter dem Einflusse des Lichtes zersetzt wird und nun die Grundlage der organischen Verbindungen bildet, so ist das Vorhandensein von Kohlensäure in der Umgebung der Pflanzen unbedingtes Erfordernis. Befinden sich die Pflanzen unter Wasser, so entnehmen sie ihren Kohlensäurebedarf der vom Wasser absorbierten Luft, welche erfahrungsmäfsig und sehr natürlich die Luftbestandteile in anderem Prozentsatze enthält als die Atmosphäre, da die Luft eben keine chemische Verbindung, sondern ein Gemenge verschiedener Gase ist, das

Wasser aber für diese ein verschiedenes Absorptionsvermögen besitzt. Für Sauerstoff und Kohlensäure ist dieses Absorptionsvermögen gröfser als für Stickstoff.

Würde man in Versuch 42 und 43 ausgekochtes oder destilliertes Wasser verwenden, so wäre aus Kohlensäuremangel ein Erfolg nicht möglich.

Kohlensäure wird nicht oder nicht genügend durch die Wurzeln zugeführt.

**Versuch 47.** Fig. 40. (Vergl. Detmer, S. 30.) Ein $^1/_2$ Liter fassender Glaskolben wird zu drei Viertel mit Brunnenwasser und einer erheblichen Menge von Elodeasprossen angefüllt. Hierauf wird die Kolbenmündung durch einen Gummipfropfen geschlossen, durch welchen eine Glasröhre führt, die anderseits mit einer U-Röhre in Verbindung steht. Letztere enthält teils Bimssteinstücke, die mit konzentrierter Kalilauge getränkt sind, teils Stücke fester Kalilauge. Da die andere Öffnung der U-Röhre unverschlossen bleibt, kann Luft in den Kolben gelangen, sie wird aber beim Durchtritt durch die U-Röhre von ihrer sämtlichen Kohlensäure befreit. Es zeigt sich nun, wenn man den Apparat dem Sonnenlicht aussetzt, dafs zunächst mit Hilfe der Kohlensäure des Brunnenwassers eine lebhafte Bläschenentwickelung vor sich geht, dafs dieselbe aber allmählich nachläfst und zuletzt aufhört.

Fig. 40.

Apparat zum Nachweis, dafs die Sauerstoffabscheidung bei Zuführung kohlensäurefreier Luft unterbleibt (nach Detmer).

*E* Elodeasprosse; *B* mit Kalilauge getränkte Bimssteinstücke; *K* feste Kalilauge.

§ 37. Das erste in der Pflanze optisch wahrnehmbare Assimilationsprodukt ist Stärke, welche in Gestalt kleiner Körnchen den Chlorophyllkörpern längere Zeit beleuchteter Pflanzen eingelagert ist oder sich in den Chlorophyllkörpern, die man durch Verdunkeln der Pflanzen von Stärkeeinlagerung befreit hat, nach der Beleuchtung einfindet. Die unter dem Einflusse des Lichtes gebildeten Stärkekörner verschwinden im Dunkeln aus den Chlorophyllkörnern (s. Stoffwechsel), weshalb man zum Nachweis der Stärke stets Pflanzen oder Pflanzenteile anzuwenden hat, die längere Zeit, minde-

stens mehrere Stunden, dem Sonnenlichte unmittelbar vorher ausgesetzt gewesen sind.

**Versuch 48.** Makrochemischer Stärkenachweis. (Detmer, S. 33, 34.) Ganze Blätter von Tropaeolum, Phaseolus, Solanum etc. werden einige Minuten mit Wasser gekocht, um die vorhandenen Stärkekörnchen zum Aufquellen zu bringen und das Protoplasma zu töten, dann in starken, auf 60° erwärmten Alkohol gelegt, wodurch in wenigen Minuten der Chlorophyllfarbstoff gelöst wird. Nun bringt man die Blätter eine halbe bis mehrere Stunden in verdünnte alkoholische Jodlösung. Die Blätter erscheinen jetzt bis auf die farblos gewordenen Rippen schwarzblau.

**Versuch 49.** Mikrochemischer Stärkenachweis. Fäden von Spirogyra oder ganze Blättchen von Funaria, die man mittels Alkohol entfärbt hat, bringt man auf dem Objektträger in einen Tropfen Lösung von Chloralhydrat (5 Tle. Chloralhydrat auf 2 Tle. Wasser). Hierauf wird etwas Jodjodkaliumlösung[1]) zugesetzt und das Präparat unter dem Mikroskop besichtigt. Selbstverständlich kann man auch aus dem Blatte einer gröfseren Pflanze einen Querschnitt herstellen und denselben ähnlich behandeln.

**Versuch 50.** Moosstengel, Fäden von Spirogyra und Vaucherien, deren einfache Gebilde sich ohne Zerschneiden mikroskopisch betrachten lassen, werden mehrere Stunden ins Finstere gebracht. Hierauf, wenn die Chlorophyllkörner homogen und transparent geworden sind, werden dieselben Pflanzenteile dem Sonnenlichte ausgesetzt. Es bilden sich allmählich in den Chlorophyllkörpern Körnchen, welche mittels der Jodreaktion als Stärke erkannt werden.

§ 38. Wahrscheinlich wird bei der Assimilation zuerst Glykose ($C_6H_{12}O_6$) gebildet, welche von den meisten Pflanzen sogleich wieder in Stärke umgewandelt wird. Diejenigen Pflanzen, in deren ausgewachsenen Blättern man auch bei günstiger Beleuchtung wenig oder gar keine Stärke findet, zeigen einen um so gröfseren Gehalt an Glykose, je geringer die vorhandene Stärkemenge ist. Auch läfst sich nachweisen, dafs die (dazu überhaupt befähigten) Blätter, in welche man künstlich Glykose eingeführt hat, diese in Stärke umwandeln.

**Versuch 51.** Unter gleichen Beleuchtungsbedingungen aufgewachsene, ausgebildete Blätter von Phaseolus, Helianthus und Allium werden nach den in Versuch 48 und 49 beschriebenen Methoden auf Stärke untersucht. Es zeigt sich, dafs Phaseolus reichlich Stärke aufweist, Helianthus wenig, Allium keine (Detmer, S. 35).

**Versuch 52.** Gröfsere Mengen Blätter von Helianthus und Allium Cepa werden an einem warmen Nachmittage gesammelt und auf einer Handpresse zwischen grober Leinwand ausgepreſst. Der Saft wird aufgekocht, filtriert und mit Fehlingscher Lösung titriert[2]), um seinen

[1]) Jod in Jodkaliumlösung aufgelöst.
[2]) Vergl. Versuch 65, S. 45.

Gehalt an Glykose zu ermitteln. Helianthus zeigt wenig, Allium bedeutende Mengen von Glykose (Detmer, S. 35).

**Versuch 53.** Ein 10 cm langes Blattstück von Iris wird, nachdem man an anderen Abschnitten desselben Blattes vollkommene Stärkelosigkeit dargethan hat, auf eine 20 prozentige Rohrzuckerlösung gelegt und über eine Woche im Dunkeln gelassen. Untersucht man hierauf das Blattstück, so zeigt es Stärkereaktion, ein Beweis, dafs von der Rohrzuckerlösung etwas in das Blatt aufgenommen und zur Stärkebildung verwendet ist.

§ 39. Die Gewichtszunahme grüner Blätter am Lichte, sei es infolge von Stärke- oder Glykosebildung, hat Sachs durch folgenden Versuch festgestellt.

**Versuch 54.** Man schneidet von einer im besten Wachstume befindlichen Sonnenrose früh bei Sonnenaufgang ein Stück Blatt von bestimmtem Flächeninhalte ab und stellt das Gewicht fest. Am Abend entnimmt man einem ähnlichen Blatte eine gleich grofse Fläche und wägt abermals. Die Zunahme, die auf Stärke (Glykose) zu rechnen ist, läfst sich so feststellen und auf eine bestimmte Flächeneinheit, z. B. einen Quadratmeter, berechnen. Nach Sachs' Untersuchungen wog ein Quadratmeter Blattfläche der Sonnenrose

| | |
|---|---|
| 5 Uhr morgens . . . . . | 43,62 g |
| 3 Uhr nachmittags . . . | 52,72 „ |
| Zunahme an Stärke in 10 Stunden . . | 9,14 g |

In einer Stunde ist also pro Quadratmeter Blattfläche 0,914 g Stärke produziert. Dies ist aber nur die im Blatte gebliebene Stärke; gleichzeitig mit der Bildung geht eine Auflösung und Fortführung der Stärke Hand in Hand. Man kennt nicht genau die Menge derselben, und deshalb ist das ganze Resultat kein sehr genaues, was es auch schon deshalb nicht sein kann, weil genau gleich schwere Blattstücke von demselben Flächeninhalte schwer zu finden sind und das Gewicht derselben sich durch Verdunstung schon während des Wägens etwas ändert. (Hierbei ist es zweckmäfsig, das Blattstück zwischen zwei Glasplatten zu wägen.) Immerhin ist der Versuch sehr instruktiv und lohnend. (Näheres vergl. Sachs, pflanzenphysiol. Vorlesungen, S. 377.)

## IV. Atmung und Stoffwechsel.

§ 40. Unter Atmung versteht man die Gesamtheit der höchst komplizierten Vorgänge in lebenden Organismen, durch welche aus dem

Sauerstoff der Atmosphäre und Kohlenstoffverbindungen des organischen Körpers andere, diesem dienlichere Kohlenstoffverbindungen hergestellt werden und gleichzeitig durch Verbrennung eines Teiles des Kohlenstoffs und Wasserstoffs ein Teil der Wärme erzeugt wird, welche die treibende Kraft für die notwendigen chemischen Umwandlungen im Körper ist. Indem der Organismus einen Teil seines Kohlen- und Wasserstoffs opfert, mit dem aus der Atmosphäre eingenommenen Sauerstoff verbrennt und abscheidet, erzeugt er die lebendige Kraft, welche seine Maschine im Gange erhält. Die Atmung ist daher in ihren Endresultaten ein Oxydationsprozefs, der dem Organismus beständig Stoff entzieht, sein Gewicht verringert und ihn, wenn nicht die entsprechende Nahrung zugeführt wird, schliefslich erschöpft. Alle lebenden Organismen atmen im allgemeinen während ihrer ganzen Lebenszeit, teils rhythmisch, wie die meisten Tiere, teils kontinuierlich, wie die Pflanzen und niedere Tiere. Doch kommen bei beiden, Tieren und Pflanzen, Fälle vor, in welchen das Leben ruht und ohne oder mit sehr geringer Atmung bis zum Eintritt günstigerer Umstände erhalten bleibt. Bei Tieren, selbst hoch stehenden, ist das Atmungsbedürfnis bisweilen aufserordentlich verringert, wie bei den Winterschläfern unter den Nagern; bei den Pflanzen bleiben Samen und Sporen ohne Atmung und also ohne Sauerstoff lebensfähig, so lange nicht durch Wasserzufuhr ihr Keimprozefs in Gang gesetzt ist.

Die inneren Vorgänge der Atmung entziehen sich gröstenteils direkter Beobachtung. Nur soviel ist bekannt (Pflüger, Pfeffer), dafs zunächst eine sogenannte intramolekulare Atmung stattfindet, eine Verbrennung ohne Sauerstoffaufnahme von aufsen; hierbei entsteht Sauerstoffmangel und bewirkt Zutritt des notwendigen Gases von aufsen. Daher können Tiere (Frösche) und Pflanzen kurze Zeit in sauerstofffreier Luft atmen und Kohlensäure abscheiden.

Besser und seit langer Zeit bekannt sind die äufseren Vorgänge des Gasaustausches und — wenigstens bei höheren Tieren — die durch Atmung bewirkte Wärme. Alle diese Verhältnisse, die Kohlensäureabscheidung, die Sauerstoffaufnahme, die gebildete Wärme, lassen sich auch bei Pflanzen mit einfachen Mitteln nachweisen, wenn man die geeigneten Objekte wählt. Das durch Atmung gebildete Wasser läfst sich allerdings schwer demonstrieren, weil es gleichzeitig mit dem übrigen Verdunstungswasser aus der Pflanze entfernt wird. Während die Tiere gewöhnlich bestimmte Organe zur Atmung besitzen, welche besonders für diesen Zweck eingerichtet sind (wenn auch nebenher eine Haut- und Darmatmung geht), atmen die Pflanzen an ihrer ganzen Oberfläche, durch Wurzeln, Stamm und Blätter, weshalb Sauerstoff in der Umgebung aller dieser Teile enthalten sein mufs.

Atmung und Assimilation sind insofern entgegengesetzte Thätigkeiten, als durch erstere die organische Substanz, welche aus Kohlensäure und Wasser gebildet worden ist, wieder in diese Stoffe zurückverwandelt

wird. Ständen beide Thätigkeiten im Gleichgewichte, so könnte kein Wachstum der Pflanze stattfinden. Unter normalen Verhältnissen aber überwiegt die Assimilation die Atmung sehr bedeutend, da nach Sachs' Berechnungen ein Quadratmeter Blattfläche im Mittel täglich etwa 25 g Stärke bildet, wovon nur etwa 1 g durch Atmung wieder verloren geht.

Fig. 41.

Versuch, um die Entwickelung von Kohlensäure durch die Atmung nachzuweisen. Das Barytwasser in *a* trübt sich.

Direkte experimentelle Beweise dafür, dafs auch im Lichte, zugleich mit der Assimilation Atmung stattfindet, sind mir nicht bekannt, doch sind alle heutigen Botaniker aus theoretischen Gründen davon überzeugt. Die Atmung der Pflanzen ist eben in allen Stücken derjenigen der Tiere so ähnlich, dafs man auch bei Tage das Fortbestehen der Pflanzenatmung annehmen mufs, wenn auch dann der Assimilationsprozefs die äufseren Merkmale der Atmung, die Abscheidung von Kohlensäure und den Verbrauch von Sauerstoff, nicht zur direkten Wahrnehmung gelangen läfst.

§ 41. Bei der Atmung wird Kohlensäure gebildet und Sauerstoff aus der Atmosphäre verbraucht.

**Versuch 55.** Fig. 41. (Mangin, S. 137.) Man bringt im Finstern unter eine unten abgeschliffene Glasglocke, welche auf einer ebenfalls geschliffenen Glasplatte steht, eine wohlbeblätterte, im Blumentopfe gewachsene Pflanze, sowie ein Glas mit Kalk- oder noch besser Barytwasser. Nach kurzer Zeit bemerkt man auf letzterem eine Haut von Karbonat, und wenn man den Versuch längere Zeit andauern läfst, wird sämtlicher Kalk (Baryt) in Karbonat verwandelt. Als Kontrollversuch stellt man einen ähnlichen Apparat ohne Pflanze daneben auf. Das Kalk- (Baryt-) Wasser trübt sich nur sehr wenig.

Fig. 42.

**Versuch 56.** Fig. 42. (Sachs.) Ein Glascylinder von etwa 1 Liter Inhalt wird zu einem Drittel mit Erbsen gefüllt, die ungefähr einen Tag in Wasser gelegen haben, und dann verschlossen. Nach 12 bis 24 Stunden ist mittels eines hineingehaltenen brennenden Lichtes — welches verlöscht —

der Mangel an Sauerstoff, und mittels eines hineingestellten Gefäßes mit Kalk- oder Barytwasser die gebildete Kohlensäure nachzuweisen. Statt Erbsen kann man auch in Entwickelung begriffene Kompositenköpfe oder junge Hutpilze (Hansen) benutzen.

**Versuch 57.** (Sachs, S. 482 und Detmer, S. 176.) Fig. 43. Durch eine Flasche, in welcher sich auf einer mit weitmaschigem Strammin bedeckten Krystallisierschale eine Anzahl keimender Samen (Erbsen, Weizen) oder in Entwickelung begriffener Knospen oder Blütenköpfchen (Kamillen) befinden, leitet man einen Strom von kohlensäurefreier Luft, die hierauf eine mit Kalk- oder Barytwasser gefüllte Flasche passiert, in welcher sämtliche der Luft nun beigemengte Kohlensäure zurück-

Fig. 43.

Kohlensäurebestimmungsapparat (nach Sachs). Vergl. Versuch 54.

gehalten wird. In *a* befinden sich mit Kalilauge getränkte Bimssteinstücke, in *b* Kalkwasser, welches etwa doch noch mitgerissene Kohlensäure anzeigt, in *c*, einer auf eine Glasplatte luftdicht aufgesetzten Glasglocke, keimende Pflanzensamen oder in Entwickelung befindliche Knospen, *d*, in *ee* wieder Kalkwasser, welches die von den Pflanzen gebildete Kohlensäure absorbiert; *f* und *g* bilden einen Aspirator, welcher beständig einen Luftstrom durch den ganzen Apparat saugt.

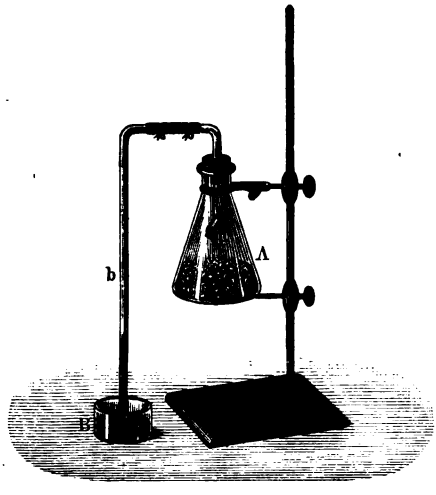
§ 42. Das Volumen des verbrauchten Sauerstoffs ist gleich dem Volumen der abgeschiedenen Kohlensäure, wenn letztere nicht sofort

wieder im Pflanzenkörper verbraucht wird, also bei nicht grünen oder im Dunkeln gehaltenen Pflanzen[1]). Denn

| 1 Vol $C_2$ | + | 2 Vol. $O_2$ | = | 2 Vol. $CO_2$ |
|---|---|---|---|---|
| in der Pflanze | | aus der Atmosphäre aufgenommen | | an die Atmosphäre abgegeben. |

**Versuch 58.** Fig. 44. (Detmer, S. 183.) In einen Glaskolben bringt man eine Anzahl in Keimung begriffener Erbsen und verschliefst ihn durch einen gut passenden Kork, durch welchen ein doppelt rechtwinkelig gebogenes Glasrohr geführt ist, dessen freier langer Schenkel in ein Gefäfs mit Quecksilber taucht. Aufserdem ist inwendig an dem Korke ein kleines Gefäfs mit Kalilauge befestigt, dessen Gewicht mit Inhalt man vorher genau festgestellt hat. Indem die keimenden Pflanzensamen den ihnen zugänglichen Sauerstoff verbrauchen, wird das Volumen der abgesperrten Luft verringert, was am Steigen des Quecksilbers sichtbar wird, während sich gleichzeitig das Gewicht der Kalilauge im Gläschen vermehrt, was durch Wägung bestimmt wird. In *A* befinden sich keimende Erbsen, in *a* konzentrierte Kalilauge, in *B* Quecksilber. Ist das Rohr *b* kalibriert, so kann man aus der Volumverringerung in *b* und der Gewichtszunahme der Kalilauge *a* das Gesetz nachweisen. Das Gewicht des verbrauchten Sauerstoffs (aus der Zahl der verbrauchten Kubikcentimeter zu berechnen) mufs sich zur Gewichtszunahme in *a* wie 16 : 22 verhalten, da das Volumgewicht des Sauerstoffs zu dem der Kohlensäure sich entsprechend verhält. Der ganze Apparat mufs natürlich im Dunkeln aufgestellt werden, oder es dürfen keine grünen Pflanzenteile in *A* vorhanden sein. Da das Niveau des Quecksilbers in *b* sich nicht genau ersehen läfst, wenn es unter dem Niveau in *B* steht, so erwärmt man mit der Hand den Glaskolben *A*, bevor man die Röhre *b* in *B* tauchen läfst. Die in *A* erwärmte Luft

Fig. 44.




Respirationsapparat nach Detmer, um nachzuweisen, dafs die Volumina der produzierten Kohlensäure und des verbrauchten Sauerstoffs gleich sind.

[1]) Fettreiche Samen, z. B. von Cannabis, verbrauchen aufserdem Sauerstoff zur höheren Oxydation des Fettes zu Kohlehydraten; bei ihnen trifft also das Gesetz nicht zu.

zieht sich dann beim Abkühlen so weit zusammen, daſs das Niveau in *b* zu Anfang des Versuchs über dem in *B* steht.

§ 43. Bei besonders lebhafter Atmung, z. B. bei in Entwickelung befindlichen Blütenköpfen von Kompositen, Blütenkolben von Aroideen, keimenden Samen, wird durch Verbrennung des Kohlenstoffs in der Pflanze eine mit dem Thermometer nachweisbare Wärmemenge frei (Th. de Saussure 1822).

**Versuch 59.** Fig. 45. Ein nicht zu kleiner Glastrichter wird mit in Keimung begriffenen Erbsen (oder im Aufblühen begriffenen Blütenköpfen von Leontodon, Anthemis, Bellis) gefüllt, in welche das Quecksilber eines noch $^1/_5{}^0$ Differenz anzeigenden Thermometers hinabreicht. Um Wärmeverlust möglichst zu vermeiden, bedeckt man den Trichter mit einer durchbohrten Glasplatte, wobei jedoch Luftabschluſs zu vermeiden ist. Die von den Erbsen gebildete Kohlensäure wird durch Kalilauge[1]) absorbiert, welche sich in einem unter dem Trichter aufgestellten Gefäſse befindet. Zur Vergleichung bringt man neben diesem Apparate ein dem ersten vollkommen gleiches Thermometer in freier Luft[2]) an, welches die von den Erbsen gebildete Wärme erkennen läſst. Um möglichst gleiche Lufttemperatur für beide Thermometer zu erzielen, stellt man am besten alles in einem groſsen Glaskasten auf oder nimmt wenigstens die Ablesung durch eine groſse vorgehaltene Glasscheibe hindurch vor. Sachs beobachtete an 100 bis 200 keimenden Erbsen auf diese Weise eine Selbsterwärmung von 1,5° C. (Sachs, Vorles. S. 491.)

Fig. 45.

Apparat zur Beobachtung der Selbsterwärmung keimender Samen und sich entfaltender Blüten (nach Sachs).

§ 44. Die bei weitem meisten Pflanzen vermögen nur in sauerstoffhaltiger Luft zu wachsen[3]).

**Versuch 60.** Fig. 46. (Detmer, S. 268.) Zwei gleiche retortenartige Gefäſse von etwa 100 ccm Inhalt werden mit ausgekochtem Wasser gefüllt (um die Luft auszutreiben), mit je einigen lufttrockenen Weizenkörnern oder Erbsen beschickt und mit den Mündungen in Quecksilber

[1]) Neuerdings hat man durch Weglassen der Kalilauge günstigere Resultate erzielt.

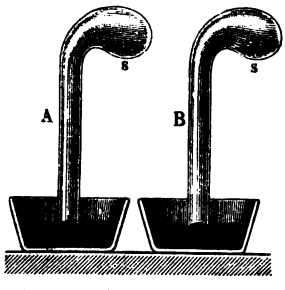
[2]) Will man die Bedingungen noch ähnlicher gestalten, so läſst man das zweite Thermometer in einen mit angefeuchteten Fliefspapierkügelchen gefüllten Trichter tauchen.

[3]) Hefepilze bedürfen keinen Sauerstoff (Detmer, S. 191).

getaucht. Nach 24 Stunden, wenn die Samen angequollen sind, verdrängt man bis auf einen kleinen Rest das Wasser des einen Gefäfses durch reinen Wasserstoff[1]), das des anderen durch Luft. Man beobachtet nun, dafs die in Luft liegenden Samen keimen, die anderen nicht. Nach zwei bis drei Tagen bringt man zu den im Wasserstoff befindlichen Samen ebenfalls Luft, und sie keimen.

§ 45. Unter Stoffwechsel versteht man die Umbildung bereits vorhandener organischer Verbindungen in solche, welche den Zwecken des Lebens dienlicher sind. Es ist also die Atmung eigentlich nur ein spezieller Fall des Stoffwechsels, nämlich, wie bereits erwähnt, derjenige, welcher wegen der Abscheidung seines einen Produktes, der Kohlensäure, äufserlich wahrnehmbar ist. In erster Linie werden durch den Stoffwechsel nicht lösliche Verbindungen, wie Stärke, Eiweifsstoffe (Aleuronkörner) in lösliche Form (Zucker, Gummi) übergeführt, um die in den Blättern gebildeten organischen Stoffe durch Diffusion an die Stellen des Verbrauchs leiten zu können. Ein grofser Teil dieser Vorgänge entzieht sich zwar der direkten Beobachtung, viele aber lassen sich doch deutlich verfolgen.

Fig. 46.




Apparat, um nachzuweisen, dafs Samen in sauerstofffreier Atmosphäre nicht wachsen. *A* enthält H, *B* Luft. (Nach Detmer.)

§ 46. Die in den grünen Blättern durch Assimilation gebildete Stärke wird beständig in lösliche Verbindungen übergeführt. Befindet sich die ganze Pflanze längere Zeit im Dunkeln, wie bei Nacht, so verschwindet die Stärke vollständig aus den Zellen, die sich nach Versuch 48 und 49 bei Tage im Sonnenlichte als stärkereich erwiesen haben. Man könnte daher vermuten, dafs dieser Stoffwechsel nur bei Nacht oder im Dunkeln, wenn die Assimilation ruht, vor sich geht. Allein, verdunkelt man kleine Partien assimilierender Blätter, so kann man erkennen, dafs derselbe Umwandlungsprozefs auch bei Tage vor sich geht, denn dann sind nach einiger Zeit die verdunkelten Stellen stärkeleer, während die dem Lichte zugänglich gewesenen Teile Stärke zeigen, weil die weggeführte stets durch neue Stärke ersetzt worden ist. Bei Tage verschwindet also nur deshalb die Stärke nicht aus den Blättern, weil beständig für die weggeführte neue erzeugt wird.

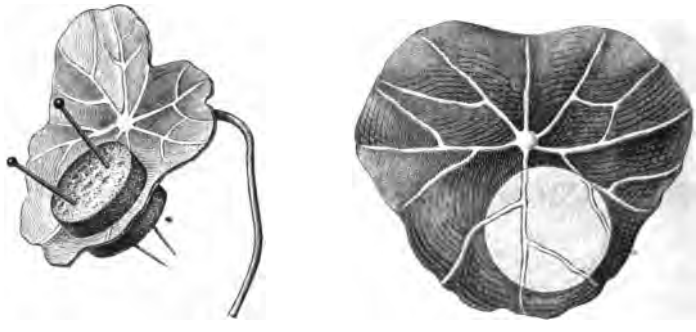
**Versuch 61.** Eine im Topfe gezogene Tropaeolumpflanze, deren Blätter, wie man sich überzeugt hat, stärkereich sind, wird ins Dunkle

[1]) Das zur Herstellung angewandte Zink mufs arsenfrei sein und der entwickelte Wasserstoff mufs, wenn man ganz sorgfältig verfahren will, zur Beseitigung von Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffen durch wässerige Lösungen von salpetersaurem Silberoxyd und übermangansaurem Kali geleitet werden.

gestellt, nachdem man einige Blätter abgeschnitten hat, die man ebenfalls im Dunkeln in einem wasserreichen Raume, also unter einer Glasglocke, aufbewahrt. Nach einigen Tagen untersucht man die abgeschnittenen und einige an der Pflanze gebliebene Blätter auf Stärke. Die an der Pflanze gebliebenen Blätter enthalten höchstens in den Nerven etwas Stärke, die anderen auch in den übrigen Blattteilen, weil sie ihre Stärke nicht abgeben konnten (Detmer, S. 232 und 233).

**Versuch 62.** Fig. 47. (Detmer.) An einer in guter Entwickelung befindlichen Pflanze von *Tropaeolum majus* werden vormittags bei Sonnenschein einige kräftige Blätter unten und oben stellenweise verdunkelt, indem man auf beiden Seiten gegenüber gleich grofse Korkscheiben mit Stecknadeln befestigt. Nachmittags des folgenden Tages nimmt man die in Untersuchung genommenen Blätter ab, kocht sie in einer Porzellanschale einige Minuten in Wasser, um die lebenden Zellen zu töten, darauf bis zur völligen Entfärbung in mehrmals erneuertem Alkohol. Die so vom Blattgrün befreiten Blätter werden in einer Por-

Fig. 47.



Tropaeolumblatt, durch Korkscheiben teilweise verdunkelt. Dasselbe, nach Entfernung der Korkscheiben durch Jod gefärbt.

zellanschale mit alkoholischer Jodlösung übergossen, worauf sie sich bis auf die vorher beschattet gewesenen Stellen tief dunkelblau färben. Da im wesentlichen bei Tageslicht die Neubildung der Stärke, bei Nacht die Auflösung und Fortschaffung des angesammelten Vorrates vor sich geht, so mufs an den Stellen, welche vom Sonnenlichte getroffen wurden, nachmittags genügend Stärke vorhanden sein, um sie makroskopisch mit Jod nachweisen zu können. Aus den beschatteten Stellen aber ist sie bei Nacht weggeführt und hat sich hier auch nicht neu bilden können.

§ 47. Ausdauernde Pflanzen, deren Vegetation auf eine Periode des Jahres beschränkt ist, wie die in unserem Klima wachsenden, legen, um beim Beginn der Vegetationsperiode mit dem nötigen Bildungsstoffe versehen zu sein, Reservestoffablagerungen an, besonders in Wurzeln, Rhizomen und Stämmen; alle versehen die Samen mit Nahrung für die

erste Entwickelungsperiode, einmal, weil deren junge Wurzelanlagen noch nicht ausreichend zur Beschaffung der Nahrung aus dem Substrat befähigt sind, anderseits, weil zunächst die Keimpflanzen noch ohne genügend entwickeltes Chlorophyll sind, welches die von den Wurzeln gelieferte anorganische Nahrung mit Hilfe des Lichtes in organische Substanz umzubilden geeignet wäre.

**Versuch 63.** Querschnitte von Farnrhizomen (Pteris), von Zweigen von Fagus, Fraxinus, Berberis, im Januar oder Februar hergestellt, werden mit Jodglycerin[1]) behandelt und in der Wärme[2]) mikroskopisch untersucht. Querschnitte von Bohnen, Erbsen, Maiskörnern behandelt man zu gleichem Zwecke einfach mit Jodjodkalium.

Die Stärke findet sich in den Laubholzstämmen namentlich in den Markstrahlen.

§ 48. Die festen Reservestoffe (Stärke, Aleuron, Inulin) müssen, wenn sie von der Pflanze in Gebrauch genommen werden sollen, verflüssigt werden. Die Stärke, das allgemeinste Nahrungsmittel, wird von der Pflanze mit Hilfe von Diastase in lösliche Form gebracht. Diastase ist ein Ferment, welches in den verschiedensten Pflanzenteilen, namentlich aber in keimenden, stärkereichen Samen gebildet wird. Diastase setzt Stärke um in verschiedene Dextrinarten, welche durch Jod gelb gefärbt werden, und in Zucker (Maltose $= C_{12}H_{22}O_{11}$), welcher durch Jod gar nicht gefärbt wird.

Bringt man ruhende Pflanzensamen durch Wasserzufuhr zur Keimung, so ist das erste, was diese vornehmen, die Bildung von Diastase, um die festen oder nicht in Wasser löslichen Reservestoffe in lösliche Form zu bringen.

**Versuch 64.** Etwas aus einer Brauerei bezogenes Malz (in Keimung begriffene Gerste) wird zermahlen[3]) und mit dem vierfachen Gewichte Wasser übergossen. Nach einiger Zeit filtriert man und mischt das Filtrat, in welchem nun Diastase enthalten ist, mit der fünffachen Menge sehr verdünnten Stärkekleisters (1 g Stärke auf 100 g Wasser). Eine Probe dieses Gemisches wird nach Jodzusatz zunächst blau, dann violett, später braun und zuletzt (nach zwei bis drei Stunden) farblos, womit die Umbildung sämtlicher Stärke, sowie das Vorhandensein von Diastase im Malz erwiesen ist.

**Versuch 65.** Daſs sich beim vorigen Versuche aus Stärkemehl Zucker (Maltose) gebildet hat, läſst sich auf folgende Weise erkennen. Man bestimmt mittels Fehlingscher Lösung den Zuckergehalt a) von 5 ccm des nach vorigem Versuche erhaltenen Malzextraktes, b) einer Mischung von 5 ccm Malzextrakt mit etwas Stärkekleister, die man einige

---

[1]) Glycerin, welches längere Zeit mit Jod in Berührung gewesen ist.
[2]) Man erwärmt den Objektträger über einer Spiritusflamme.
[3]) Auf einer gewöhnlichen Kaffeemühle.

Stunden stehen gelassen hat. Fehlingsche Lösung besteht aus einer Auflösung von 34,6 Kupfervitriol, 173 Seignettesalz (weinsaures Natron-Kali) und 60 Natronlauge in 1000 ccm Wasser. Der leichten Zersetzbarkeit halber bewahrt man aber besser eine Lösung von 34,6 Kupfervitriol in 500 ccm Wasser und eine zweite von 173 Seignettesalz und 60 Natronlauge in ebenfalls 500 ccm Wasser getrennt auf und mischt beide Lösungen unmittelbar vor dem Gebrauche zu gleichen Teilen. 5 mg Dextrose entsprechen 1 ccm Fehlingscher Lösung. Für vorliegenden Zweck genügt folgende annähernde Ermittelung. 10 ccm Fehlingscher Lösung (5 ccm blaue Kupferlösung und 5 ccm weifse alkalische Lösung) mit 30 ccm Wasser in einer Porzellanschale vermischt werden zum Kochen gebracht, worauf man so lange Zuckerlösung einfliefsen läfst, bis die blaue Farbe nach zwei Minuten langem Kochen verschwunden ist [1]).

**Versuch 66.** Höchst interessant für die Stoffwanderung, aber etwas langwierig, ist ein von Sachs ausgeführter und in den pflanzenphysiologischen Vorlesungen, S. 428 beschriebener Versuch, welcher beweist, dafs die von beleuchteten Blättern gebildete organische Substanz auch zu verdunkelten Blättern und Pflanzenteilen ihren Weg findet. Sachs zog nämlich eine Kürbispflanze, deren Stengel auf eine ziemliche Strecke in einem grofsen dunklen Kasten eingeschlossen war. Der im Dunkeln gezogene Teil der Pflanze, der also nicht assimilieren konnte, zeigte selbstverständlich die bleiche Farbe etiolierter Pflanzen (jedoch auffallender Weise gröfsere Blätter), entwickelte aber eine Frucht von 3 kg Gewicht und mit 195 Samenkörnern, von denen sich ein Drittel als keimfähig erwies.

**Versuch 67.** Man untersucht Feuerbohnen, nachdem sie 24 Stunden in Wasser gelegen haben, mikroskopisch und weist durch Jod das Vorhandensein von Stärke nach. Darauf läfst man sie keimen und untersucht öfter a) die Kotyledonen, b) die gebildeten Stengel- und Wurzelteile (makroskopisch und mikroskopisch). Wenn die Keimung beendet ist, d. h. wenn sich die Primordialblätter vollständig entfaltet haben, so sind die Kotyledonen, vorher reich an Stärke und Aleuron, fast völlig frei von Reservestoffen. Schnitte, die man mit Kupferlösung und Kali behandelt, färben sich nicht mehr violett, da kein Eiweifs (Aleuron) vorhanden ist, sondern hellblau, und Stärke ist mittels der Jodreaktion kaum noch nachweisbar (Detmer).

§ 49. Manche stofflichen Veränderungen innerhalb der Pflanze lassen sich äufserlich durch Farbenveränderungen wahrnehmen. Viele Blüten, namentlich von Asperifoliaceen (Myosotis, Pulmonaria, Anchusa)

---

[1]) Andere Zusammensetzungen der Fehlingschen Lösung, sowie Näheres über die Ausführung der Bestimmung findet man in Tollens, Handbuch der Kohlenhydrate, Trewendt 1888, S. 71 ff. u. 152 und Detmer, S. 196.

zeigen an der Knospe rote, an der aufgeblühten Blüte blaue Färbung. Der Grund liegt darin, dafs anfangs saure, dann durch Stoffveränderung alkalische Säfte in den Zellen vorhanden sind und einen darin enthaltenen Farbstoff die entsprechenden Farben — ähnlich dem Lackmusfarbstoff — annehmen lassen.

**Versuch 68.** a) Rote Haare von Begoniablattstielen, unter dem Mikroskop mit Kalilauge behandelt, werden blau.

b) Blaue Blumenblätter von Myosotis werden rot, wenn man Säuren dazu bringt.

c) Rote Pflanzensäfte (aus im Mörser zerriebenen Blumenblättern von roten Rosen und Päonien mit Wasser ausgezogen) färben sich auf Ammoniakzusatz blau, auf Zusatz von Salzsäure wieder rot (Detmer, S. 228).

---

# V. Geotropismus.

§ 50. Die Anziehungskraft der Erde übt auf die im Wachstume befindlichen Pflanzenteile eine richtende Wirkung aus, die man als Geotropismus bezeichnet; als positiven, wenn dadurch den Pflanzenteilen die Richtung nach dem Erdmittelpunkte erteilt wird, als negativen, wenn umgekehrt. Vergl. § 82.

§ 51. Im allgemeinen sind die Hauptwurzeln positiv, die Sprosse samt den Blättern negativ geotrop; und zwar wird von den Pflanzenteilen, um die ihnen zukommende Richtung beizubehalten, eine verhältnismäfsig bedeutende Gegenkraft überwunden.

Fig. 48.

Apparat, um die geotropische Wurzelkrümmung von Keimpflanzen zu zeigen. Die Glocke *g* ruht in dem zum Teil mit Wasser gefüllten Becken *b*; *s* mit einer Nadel befestigter Same (nach Detmer).

**Versuch 69.** Fig. 48. Gekeimte Phasolus- und Viciapflanzen werden unter einer Glasglocke im feuchten Raume[1]) so befestigt, dafs die Hauptwurzeln wagerecht liegen. Nach kurzer Zeit, bei 20 bis 25° nach wenigen Stunden, zeigt sich Abwärtskrümmung der Wurzelspitzen (Detmer, S. 293).

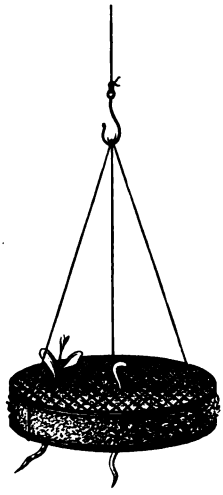
**Versuch 70.** Fig. 49 (a. f. S.). Zwischen zwei wagerecht und parallel befestigten, mit weitmaschiger Gaze bespannten Ringen von Messingdraht bringt man eine Schicht von feuchten Sägespänen an, in

---

[1]) Man bedeckt den Teller, auf dem die Glasglocke ruht, mit feuchten Sägespänen oder mehreren Lagen angefeuchteten Fliefspapiers.

welche man Erbsen, Bohnen, Mais säet. Die Wurzeln kriechen durch die Löcher nach unten, die Sprosse nach oben. Man dreht den ganzen Apparat um, und die Richtung der genannten Pflanzenteile wird nach einiger Zeit die entgegengesetzte sein.

Fig. 49.



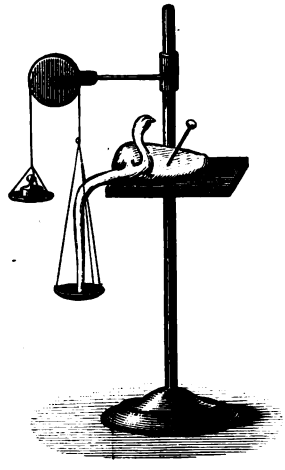
Apparat, um den Geotropismus der Stengel und Wurzeln zu zeigen.

**Versuch 71.** Eine Tulpe, Hyacinthe, Kaiserkrone etc., welche in kräftigem Wachstum begriffen ist, wird wagerecht gelegt: die Sprosse richten sich nach kurzer Zeit senkrecht in die Höhe (Sachs, S. 830).

**Versuch 72.** Fig. 50 und 51. Eine gekeimte Erbse, deren Hauptwurzel einige Centimeter Länge erreicht hat, befestigt man so, dafs sie in Wasser taucht, welches eine dünne Schicht über Quecksilber bildet. Die Hauptwurzel dringt dann, trotzdem sie erheblich leichter ist als das Quecksilber, in dieses ein (Sachs, S. 846). Man kann den Versuch auch so abändern, dafs man die Kraft, mit welcher die Wurzel nach unten strebt, direkt durch Gewichte bestimmt. Man läfst nämlich die Wurzelspitze eine kleine Wagschale berühren, welche durch Gegengewichte nach oben gezogen wird (Mangin, S. 176).

**Versuch 73.** Fig. 52. Keimpflanzen von *Cucurbita pepo* werden in vollständiger Dunkelheit gezogen. Es zeigt sich, dafs, wenn man so die richtende Kraft des Lichtes (s. Heliotropismus) ausschliefst, nicht nur die Sprofsachsen, sondern auch die Blätter eine senkrechte Richtung annehmen.

Fig. 51.



Versuch, um die Kraft zu zeigen, mit welcher die Wurzel in den Boden dringt (nach Mangin).

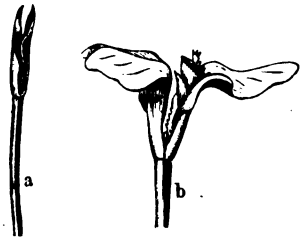
§ 52. Nur die in Streckung, also im Wachstume befindlichen Wurzel- und Stengelteile werden durch den Geotropismus beeinflufst.

Fig. 50.

Eine Keimpflanze von Vicia Faba, deren Wurzel und Keimsprofs sich in aufrechter Stellung gerade entwickelt hatten, ist mit dem Wurzelende horizontal auf Quecksilber gelegt, in welches die Wurzel vermöge des Geotropismus eindringt (nach Sachs).

**Versuch 74.** Fig. 53 und 54. Die Hauptwurzeln von Phaseolus-Keimpflanzen werden mit Strichen von chinesischer Tusche versehen, die man 2 bis 3 mm voneinander entfernt mit einem feinen Pinsel vorsichtig aufträgt. Hierauf bringt man die Pflänzchen in einen mit Glaswänden versehenen Zinkkasten (s. Fig. 53) und legt sie in lockerer Erde dicht an einer Glaswand wagerecht hin. Ein Papierdreieck wird aufsen aufgeklebt, wo der erste Teilstrich ist. Alle in Streckung befindlichen Teile nehmen an der Abwärtskrümmung der Hauptwurzel teil (Pfeffer).

Fig. 52.



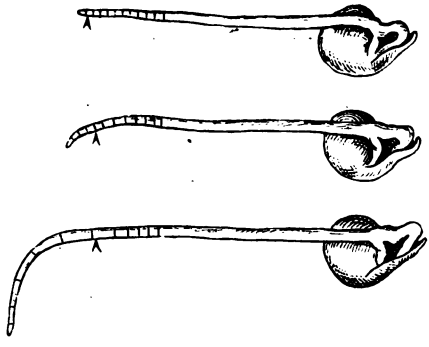

*a* Im Dunkeln, *b* im Lichte gewachsener Sprofs einer Keimpflanze von *Cucurbita pepo* (nach Detmer).

**Versuch 75.** Fig. 55. Wenn ein noch grüner Getreidehalm unmittelbar über der Erde umgeknickt wird, so richtet sich derselbe in einigen Tagen wieder auf unter Beteiligung sämtlicher noch wachstumsfähiger

Fig. 53.

Zinkkasten mit Glaswänden zur Beobachtung des Wurzelwachstums von Keimpflanzen. *z* Zink, durchlöchert, um der Luft den Zutritt zur innen befindlichen Erde zu eröffnen; *g* Glaswand. Durch eine untergestellte Spirituslampe kann die Wärme erhöht werden (nach Sachs).

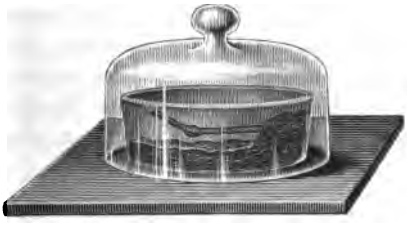
Fig. 54.



Längenwachstum der Wurzel unter dem Einflusse der Schwerkraft (nach Pfeffer).

Knoten. Selbst abgeschnittene und in feuchter Luft gehaltene Halmstücke zeigen diese in der Praxis bekannte und für das Gedeihen der Pflanzen wichtige Erscheinung (Pfeffer).

Fig. 55.

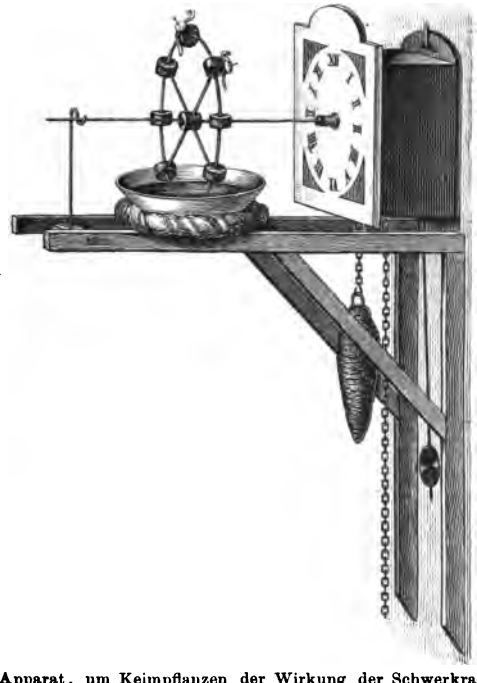


Geotropische Krümmung eines Getreidehalmstückes.

§ 53. Wenn man den Einfluſs der Schwerkraft aufhebt, indem man kleinere Pflanzen langsam um eine horizontale Achse rotieren läfst, so machen sich die in den Versuchen 69 bis 75 wahrgenommenen Erscheinungen des Geotropismus nicht bemerklich.

**Versuch 76.** Fig. 56. An einer grofsen Wanduhr, deren Zifferblatt den einfallenden Lichtstrahlen parallel ist, damit die störende Wirkung des Lichtes aufgehoben wird[1]), entfernt man die Zeiger und befestigt auf der verlängerten Achse derselben eine gröfsere (10 cm) Korkscheibe (oder ein mit Korken an der Peripherie versehenes Rad), welche man mit verschiedenen, nach beliebigen Seiten gerichteten Keimpflanzen von *Pisum sativum* besetzt. Letztere wachsen, wenn die Uhr in Gang gesetzt wird, unabhängig von der richtenden Kraft der Schwere und des Lichtes und daher nach der Richtung, in welcher sie zufällig befestigt sind, weiter. Doch mufs man das sich drehende Rad unten in eine mit Wasser gefüllte Porzellanschale tauchen lassen, damit die Keimpflanzen längere Zeit frisch bleiben.

Fig. 56.



Apparat, um Keimpflanzen der Wirkung der Schwerkraft zu entziehen.

§ 54. Läfst man an Stelle der Schwerkraft eine andere ähnlich wirkende, kontinuierliche Kraft auf die Pflanze einwirken, so nehmen deren Teile eine entsprechende Stellung zur wirkenden Kraft ein.

**Versuch 77.** Fig. 57, 58 (a. S. 52). (Knightscher Versuch 1809.) Wenn man junge Pflanzen auf einem um eine wagerechte Achse drehbaren Rade befestigt und dieses in schnelle Rotation versetzt, so wird zunächst die Schwerkraft, wie im vorigen Versuche, wirkungslos, weil sie bald auf die eine, bald auf die andere Seite der Pflanze ihren Einfluſs ausübt. Statt ihrer aber wirkt nun die Zentrifugalkraft, welche die Pflanzenteile in der Richtung der Tangente fortzutreiben sucht. Es werden daher die Sprofsachsen, welche negativ geotrop sind, dem Zentrum des Rades zustreben, die Hauptwurzeln sich von diesem entfernen. Diese Richtungen nehmen die

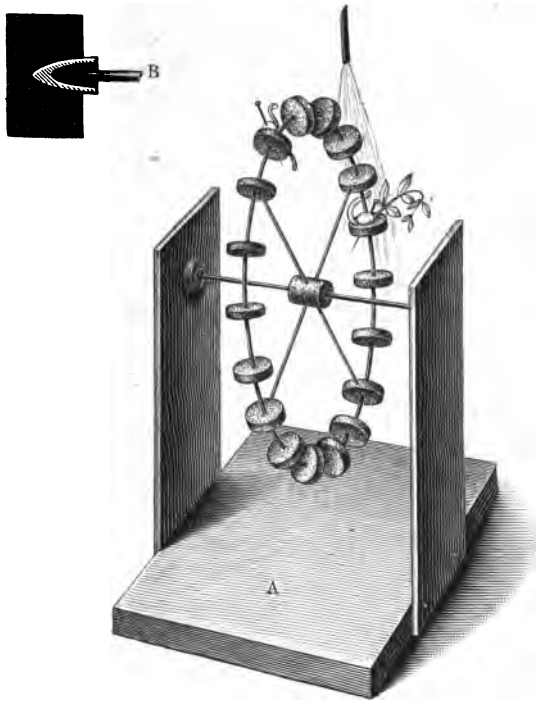
[1]) Würde man die Lichtstrahlen senkrecht auf das Zifferblatt fallen lassen, so würden diese eine Richtung der Sprosse nach dem Lichte bewirken (s. Heliotropismus).

Pflanzenteile bei Anwendung schnell wachsender Keimlinge (Erbsen, Mais), auch wenn sie in entgegengesetzter Richtung befestigt waren, schon nach fünf bis sechs Stunden deutlich ein.

Die schnelle Rotation des Rades kann man auf dreierlei Weise, je nach den örtlichen und pekuniären Verhältnissen, bewirken.

a) Man benutzt einen Klinostaten[1]) und sorgt durch einen Sprengapparat, etwa einen Heber, oder dadurch, dafs man das Rad in einem feuchten Raume sich bewegen läfst, für genügende Feuchtigkeit der angewandten Pflanzen.

Fig. 57.



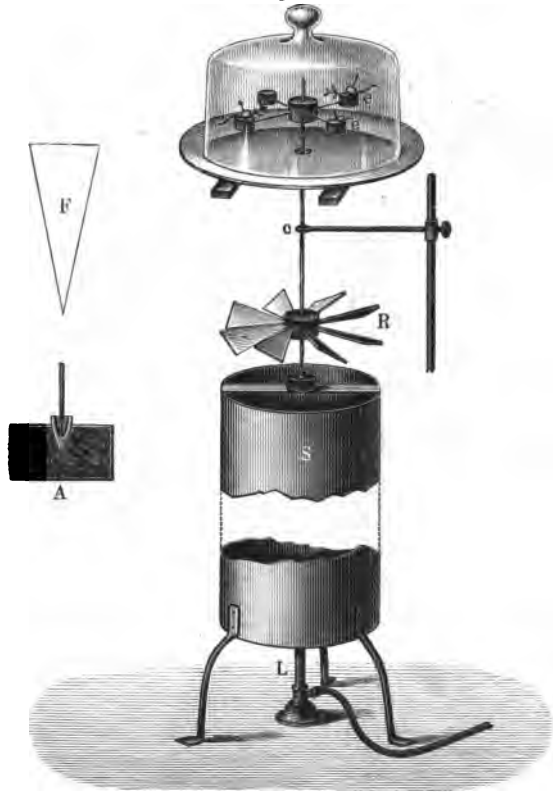

*A* Apparat, vermittelst dessen Keimpflanzen in schnelle Rotation versetzt werden, um die Schwerkraft durch die Zentrifugalkraft zu ersetzen. *B* Kork mit einem zugeschmolzenen Stückchen Glasröhre, in welchem die Achse läuft.

b) Wo eine Wasserleitung zur Verfügung steht, ist der teure Klinostat durch folgende Einrichtung entbehrlich, durch welche gleichzeitig die Besprengung der Pflanzen mit besorgt wird. Auf einen 40 cm langen Messingdraht von Stricknadelstärke wird eine Anzahl Korkscheiben von 3 cm Durchmesser und einem halben Centimeter Dicke aufgereiht und gleichmäfsig verteilt. Der Draht wird nun zu einem Kreis gebogen und seine beiden Enden, indem man sie durch eine der Korkscheiben sticht und untereinander festbindet, vereinigt. Vier Messingdrahtstücke dienen für das zu bildende Rad als Speichen, während das Zentrum durch einen dickeren Kork gebildet wird. Ein weiteres Stück Draht dient als Achse; es darf nicht zu kurz sein — 15 cm —, damit die Keimpflanzen für ihre

[1]) Technische Anstalt der Gebr. Ungerer in Strafsburg i. E.; Preis 160 Mk. M. E. Albrecht, Universitätsmechaniker in Tübingen; Preis 220 bis 320 Mk.

Krümmungen hinreichend Spielraum haben. Die Achse läfst man in Lagern von zugeschmolzenen Glasröhren laufen (s. Fig. 57, *B*), die einfach in mit Siegellack befestigte Korke eingedrückt werden. Leitet man einen mäfsigen Wasserstrahl senkrecht auf die Korkscheiben einer Seite, so erhält man eine genügende Rotationsgeschwindigkeit, um bereits nach fünf bis sechs Stunden eine merkliche Richtungsänderung bei umgekehrt (mit der Wurzel nach innen) befestigten Keimpflanzen von Pisum nachweisen zu können. Hat man genügend grofse Wasserbehälter[1]), so kann man auch ohne Wasserleitung den Versuch anstellen. Eine Glasröhre von etwa 4 mm Weite im Lichten liefert bei 1 m Fallhöhe einen Wasserstrahl, der mehr als zwei Umdrehungen des Rades in der Sekunde bewirkt, was zur Anstellung des Versuches vollständig ausreicht. Das wiederholte Umschöpfen des Wassers ist allerdings bei längerer Fortsetzung des Versuches etwas umständlich; es fällt weg bei

Fig. 58.




Apparat, durch welchen Erbsenkeimpflanzen (*c*) in schnelle Rotation versetzt werden. Das Rad *R* wird durch einen Luftstrom getrieben, der durch eine unter den Schornstein *S* gestellte Lampe *L* erzeugt wird. *A* unteres Achsenlager (vergl. Fig. 57), *F* einzelner Flügel des Rades *R*.

c) Man konstruiert sich folgenden Apparat, bei welchem warme Luft die treibende Kraft abgiebt. In einem aufrecht stehenden, dicken Korke werden sechs leichte Flügel von dünnem Zigarrenkistenholze von der Form *F*, Fig. 58, unter einem Winkel von etwa 30° gegen den Horizont geneigt befestigt, indem man einfach die Spitzen der Brettchen in den Kork einbohrt. Ein starker Messingdraht von 40 bis 50 cm Länge ist

[1]) Z. B. zwei Badewannen, wie ich sie benutzte.

durch die Mitte des Korkes senkrecht gebohrt und läuft mit seinem unteren, zugespitzten Ende in dem zugeschmolzenen Ende einer kurzen Glasröhre, welches man in einen Kork eingeschoben hat, während der Draht bei *c* durch einen Ring lose gehalten wird, so dafs er leicht um seine Achse drehbar ist. Oberhalb von *c* geht die Achse durch die Bohrung eines Porzellantellers, auf welchem eine Glasglocke steht. *e, e* sind Korke, auf welchen die Versuchspflanzen mit Stecknadeln befestigt werden. Das 1 m lange Ofenrohr *S* dient als Schornstein und leitet, wenn eine Spiritus- oder Gasflamme untergeschoben wird, einen hinreichend starken Luftstrom gegen das Rad *R*, um dieses und die Korke *e, e* in schnelle Rotation zu versetzen. Der Boden des Tellers mufs mit mehreren Lagen feuchten Fliefspapiers belegt werden oder mit angefeuchtetem Sande versehen sein, um genügende Feuchtigkeit unter der Glasglocke zu erhalten.

Ein Mangel dieses Apparates ist die Drehung um eine vertikale Achse, da auf diese Weise die Schwerkraft nicht ganz ausgeschlossen wird.

---

## VI. Heliotropismus.

§ 55. Heliotropismus ist die richtende Kraft des Sonnenlichtes in bezug auf die Pflanze. Die Versuche hierüber zerfallen in zwei Reihen, denn es gilt erstens festzustellen, welcherlei Einwirkung das Sonnenlicht in seiner Gesamtheit, als weifses Licht, in der angeregten Beziehung ausübt, und zweitens zu ermitteln, welchen der verschiedenen Lichtstrahlen, aus denen das Sonnenlicht zusammengesetzt ist, hierbei die eigentliche Wirksamkeit zukommt.

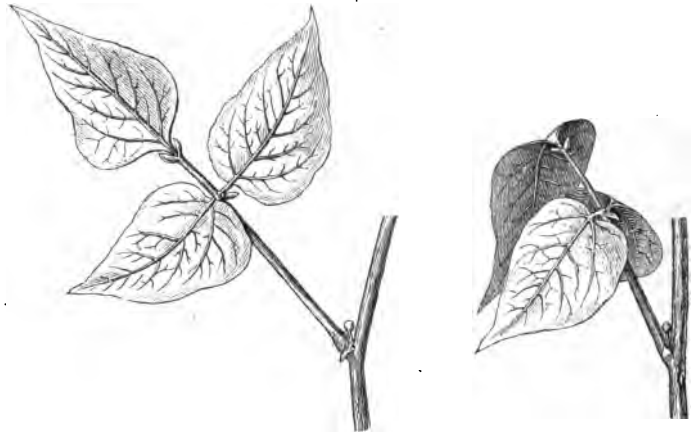
Die Wirkungen des Gesamtsonnenlichtes auf die Richtung der Pflanzen resp. Pflanzenteile sind in dem gewöhnlichen Leben bekannter, als die meisten übrigen auf die Pflanze einwirkenden Kräfte. Jedermann weifs, dafs die Pflanzen, d. h. ihre oberirdischen Teile, im allgemeinen dem Lichte zustreben, wie der Hungernde nach dem ihm dargebotenen Brot, und wir wissen aus dem Abschnitt über Assimilation, dafs für sie das Licht in der That ähnliche Bedeutung hat. Sieht man nun näher zu, so findet man, dafs die verschiedenen Hauptteile der Pflanze, Wurzel, Stengel und Blatt, sich in höchst auffallender und sehr verschiedener Weise dem Lichte gegenüber verhalten. Man findet die in den folgenden Paragraphen erläuterten Gesetze, die sich in das Grundgesetz zusammenfassen lassen: Die Kraft des Lichtes ist bestrebt, alle Pflanzenteile in die Stellungen zu bringen, in welchen sie ihren Funktionen am besten nachzukommen vermögen, die Wurzeln der Aufsaugung anorganischer Nahrung aus dem Boden, die Blätter der Assimilation, die Sprofsachsen der Erhaltung der Blätter in der für sie günstigsten Stellung (vergl. auch § 82, S. 72).

§ 56. Die Blätter stellen im wesentlichen ihre Fläche senkrecht zu den Lichtstrahlen, die Sprofsachsen richten sich parallel zu denselben.

**Versuch 78.** Pflanzen von Helianthus, Ricinus, Begonia, Fuchsia etc. werden unter möglichst allseitiger Beleuchtung gezogen, und zeigen dann die charakteristischen Stellungen.

§ 57. Die Blätter verharren aber nicht immer in der im vorigen Paragraphen angegebenen Hauptstellung; diese würde, da die Sonne ja ihren Stand am Himmel und zur Pflanze wechselt, einen grofsen Teil des Tages nicht zweckmäfsig sein. Vielmehr hat man gefunden (Darwin, Vöchting 1888), dafs die Blätter am Tage dem Stande der Sonne folgen und bei Nacht zum Teil eine besondere Stellung (Schlafstellung, Fig. 59) einnehmen. Die Hauptbewegung wird von den Gelenken zwischen Blattstiel und Blattspreite ausgeführt. Während der gewöhn-

Fig. 59.



Blatt von *Phaseolus multiflorus* in Tag- und Nachtstellung (nach Detmer).

liche Heliotropismus als eine Wachstumserscheinung aufzufassen ist, da er bleibende Veränderungen am Pflanzenkörper hervorbringt (vergl. § 81), bewirkt das Licht hier vorübergehende Veränderungen, die bei beiden Bewegungsarten auf Spannungsunterschiede in den Geweben zurückzuführen sind. Diese sind bei den Schlafbewegungen ohne Frage durch Wasserfülle oder Wassermangel in den Gelenken bedingt. Im ersteren Falle ist das Gelenk straff, im letzteren schlaff und herabhängend.

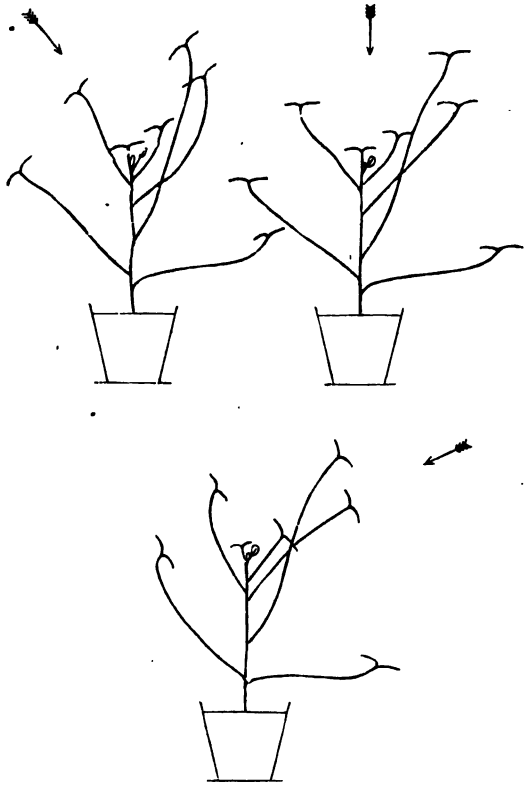
**Versuch 79.** Fig. 60. Eine im Topfe gezogene Malve oder Sonnenrose wird im Freien oder vor einem nach Süden gelegenen Fenster dem Tageslichte ausgesetzt. Die Blätter nehmen nacheinander die in Fig. 60 veranschaulichten Stellungen ein.

**Versuch 80.** Fig. 61 (a. S. 56). Eine im Topfe gezogene Oxalispflanze wird zunächst bei Tag und bei Nacht auf die Stellung ihrer Blätter unter-

sucht. Man findet im Dunkeln ihre Blättchen herabhängend. Aber auch am Mittag kann man durch Verdunkeln der Pflanze mittels eines Pappkastens denselben Effekt erzielen, woraus hervorgeht, dafs nur der Lichtmangel, nicht etwa die bei Nacht sich verändernde Wärme oder Feuchtigkeit die Ursache der Schlafstellung ist.

§ 58. Bewegung freier Protoplasten und der Chlorophyllkörner am Lichte. An den Schwärmsporen von Süfswasseralgen hat man schon vor längerer Zeit eine Lichtempfindlichkeit derart wahrgenommen, dafs die einen dem Lichte zu entfliehen trachten, die anderen ihm zustreben. Neuerdings hat man gefunden, dafs sie sämtlich eine bestimmte, spezifische Lichtintensität lieben, was darüber ist, aber energisch vermeiden, dafs sie mit anderen Worten die ihnen gerade zusagende Lichtmenge aufsuchen. Ähnlich verhalten sich die Chlorophyllkörner in den Blättern (Stahl). Sie nehmen je nach dem Lichtgrade eine verschiedene Stellung in der Zelle ein, indem sie schwachem Lichte eine möglichst grofse Fläche bieten, vor hellem Lichte sich verkriechen, im Dunkeln sich gleichmäfsig in der Zelle ausbreiten (Fig. 62, a. f. S.). Sie verhalten sich also ähnlich wie die Blätter, nur dafs ihre Beweglichkeit weit weniger beschränkt ist. Über Versuche s. Hansen, Pflanzenphysiologie.

Fig. 60.

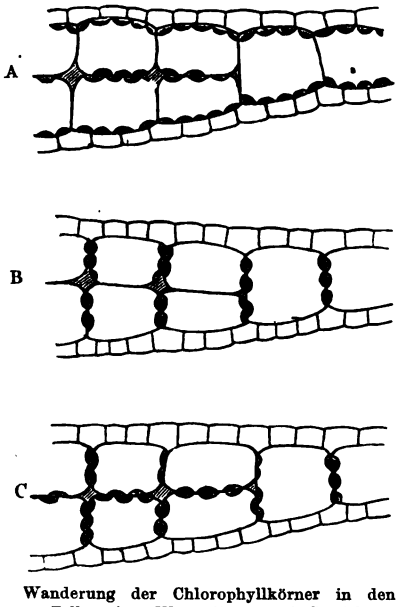


Schematische Darstellung der wechselnden Lichtstellung der Blätter (nach Vöchting). Die Pfeile deuten die Lichtrichtung an.

§ 59. Im Dunkeln oder bei mangelhafter Beleuchtung gezogene Pflanzen verlängern die Sprofsachsen, im letzteren Falle in der Richtung nach der Lichtquelle hin, während die Blattspreiten auf Kosten der

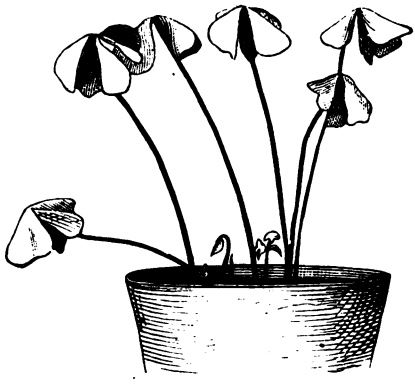
Achsenorgane verkümmern. Der Zweck dieser Wachstumserscheinung ist offenbar der, die Assimilationsorgane mit allen zu Gebote stehenden Mitteln nach der Gegend zu befördern, wo sie vermöge des Lichtes ihre Funktionen erfüllen können. Der Vorgang ist im wesentlichen derselbe, nur energischer durchgeführt, wie er bei einseitiger Beleuchtung in der Drehung der Pflanze nach dem Lichte beobachtet wird.

Fig. 62.




Wanderung der Chlorophyllkörner in den Zellen einer Wasserlinse (nach Stahl).
*A* Stellung bei diffusem; *B* bei direktem Sonnenlichte; *C* im Dunkeln.

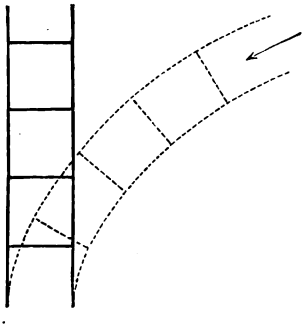
Fig. 61.



Oxalis, durch künstliche Verdunkelung in Schlafstellung gebracht (nach Hansen).

Das Gesetz, dafs die Sprofsachsen im Dunkeln sich verlängern, erklärt mechanisch diesen bei Stubenpflanzen oft beobachteten Vorgang. Wenn alle dem Lichte abgewendeten Achsenteile sich unverhältnismäfsig

Fig. 63.



Schematische Darstellung der Richtungsänderung einer Achse bei einseitiger Beleuchtung.

Fig. 64.

Keimpflanze von *Sinapis alba* unter dem Einflusse einseitiger Beleuchtung (nach Detmer).

strecken, die dem Lichte zugewandten normales Längenwachstum beibehalten, so mufs im ganzen eine Drehung der Achse nach dem Lichte erfolgen (Fig. 63). Ausnahmen von dieser Regel finden sich bei einigen schattenliebenden Pflanzen, z. B. dem Epheu, dessen junge Sprosse negativ heliotrop sind.

**Versuch 81.** Fig. 64. Keimpflanzen von *Sinapis alba*, *Vicia sativa*, *Phaseolus multiflorus*, *Lepidium sativum* werden in angequelltem Zustande auf Tüll befestigt, welchen man über ein mit Brunnenwasser gefülltes Glasgefäfs (z. B. eine Krystallisierschale) gespannt und mit kleinen Löchern für den Durchtritt der Wurzeln versehen hat. Nachdem die Stengel und Wurzeln einige Centimeter Länge erreicht haben, stellt man die Pflanzen unter einen innen mit mattschwarzem Papier überzogenen Pappkasten, welcher nur durch einen schmalen Spalt Licht eintreten läfst. Es zeigt sich schon nach wenigen Stunden die Richtung des Stengels und der Wurzel in obigem Sinne (Detmer, S. 309).

**Versuch 82.** In Töpfen gezogene junge Epheupflanzen werden in ein nach Norden gelegenes Fenster gestellt. Nach etwa vier Wochen zeigt sich deutlich, dafs sich die Sprofsenden dem Inneren des Zimmers zugewendet haben (Detmer, S. 337).

Anmerkung. Würde man die Pflanzen in ein nach Süden gelegenes Fenster stellen, so würde die Sonne in das Innere des Zimmers scheinen und den Unterschied nicht auffallend machen.

§ 60. Nicht alle Lichtstrahlen sind gleich wirksam für das Zustandekommen der in dem vorigen Paragraphen erwähnten Pflanzenbewegungen, vielmehr sind es vorzugsweise die dem dunklen Teile des Spektrums angehörenden Strahlen, welche heliotrop wirken, während bei der Assimilation gerade die hellen Strahlen wirksam sind.

**Versuch 83.** Von zwei lichtempfindlichen Keimpflanzen gleicher Art wird die eine in einen Kasten (s. Fig. 33) mit vorgesetzten gelben Glasscheiben, die andere in einen solchen mit blauen Glasscheiben gebracht. Die heliotropen Krümmungen gehen im blauen Lichte weit energischer vor sich. Statt der Glasscheiben kann man besser parallelwandige Glasgefäfse benutzen, wie sie zu Bunsenschen Elementen gebraucht werden, und das eine mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali, das andere mit einer solchen von Kupferoxydammoniak füllen. Am besten benutzt man zwei Gefäfse, wie in Versuch 45 (Fig. 38), die man einerseits verhüllt. Man kann dann allerdings nur kleinere Pflanzen untersuchen.

§ 61. Hebt man die Einwirkung der Schwerkraft auf, läfst aber das Licht voll einwirken, so wird bei den Pflanzen, welche nicht spezielle Schattenpflanzen sind, wie der Epheu, die Richtung der Sprosse und Hauptwurzeln entgegengesetzt sein, erstere werden dem Lichte zustreben, letztere sich von ihm abwenden.

**Versuch 84.** Versuch 76 wird derartig abgeändert, dafs das Licht senkrecht auf das Zifferblatt der Uhr fällt.

§ 62. Hebt man Geotropismus und Heliotropismus gleichzeitig auf, so zeigen die Teile der Versuchspflanzen keine bestimmte Richtung im Raume, sondern nur eine solche zu einander. Beweis ist der Versuch 76, bei welchem durch die Drehung um eine horizontale Achse der Geotropismus und durch die wechselnde Stellung zum Lichte gleichzeitig der Heliotropismus ausgeschlossen wird.

§ 63. Durch den Heliotropismus werden die Mängel der für jede Pflanzenart feststehenden Blattstellung in verschiedener Weise beseitigt. Die Blattstellung ist nämlich für die einzelnen Pflanzenarten nur dann zweckmäfsig, wenn der Sprofs, an welchem sich die Blätter befinden, die den Sprossen im allgemeinen zukommende senkrechte Stellung einnimmt. Diese Stellung des Sprosses mufs aber, wenn viele Sprosse

Fig. 65.

Sprofs einer Sonnenrose, der mehrere Tage in wagerechter Haltung befestigt war.

über und nebeneinander an einem Hauptsprofs sich bilden und sich gegenseitig das Licht wegzunehmen drohen, in mannigfaltigster Weise verändert werden, und damit wird auch die in der Anlage zweckmäfsige Blattstellung in den einzelnen Fällen vielfach unbrauchbar, ohne dafs doch die Pflanze im stande ist, die in der Natur ihres Protoplasmas nun einmal liegende Neigung für eine ganz bestimmte Blattstellung entsprechend zu ändern. Zur Aufhebung der sich so ergebenden Mängel dient der Heliotropismus, indem er teils Drehungen der Sprofsachsen, teils Drehungen der Blattstiele, teils zweckmäfsige Verlängerungen der Blattstiele, teils Veränderungen in der Lage der Blattfläche gegen den Blattstiel veranlafst, alles zu dem Zwecke, die Blattflächen dem Sonnenlichte zugänglich zu machen (vergl. Kerner v. Marialaun, Pflanzenleben I, Blättermosaik, S. 367 bis 392).

**Versuch 85.** Fig. 65. Ein beblätterter, senkrecht gewachsener Sprofs von einem Ahornbaume oder eine ganze Helianthuspflanze wird —

im Freien — möglichst wagerecht gebogen und in dieser Stellung befestigt. Bald zeigen die vorher im wesentlichen wagerecht nach allen Seiten abstehenden, also zum Sprofs senkrecht gestellten Blätter eigentümliche Drehungen, welche schliefslich dahin führen, dafs sie sämtlich, soweit sie noch wachstumsfähig sind, wieder wagerecht, d. h. nunmehr parallel zum Sprofs und untereinander liegen.

---

# VII. Wärme.

§ 64. Wärme, Wasser, Licht, Luft und Boden sind die Grundbedingungen jedes pflanzlichen Lebens. Ohne eine gewisse, jeder Pflanzenart vorgeschriebene Wärme ist die Auslösung der chemischen Prozesse in ihrem Inneren, die das Leben ausmachen, unmöglich. Wo die nötige Wärme fehlt, sei es in den Eisgefilden der Polarländer, sei es in den Regionen des ewigen Schnees der Hochgebirge, sei es endlich in den Tiefen der Ozeane, hört jedes pflanzliche Leben auf.

Die allgemeine Wärmequelle ist die Sonne. Sie versendet dreierlei Strahlen, unsichtbare Wärme-, helle Licht- und dunkle, chemische Strahlen. Von diesen kommen hier in erster Linie, aber nicht einzig, die Wärmestrahlen in Betracht. Sie lassen ihre belebende Kraft den Pflanzen teils direkt, teils durch Leitung aus dem erwärmten Boden und der erwärmten Luft zukommen. Aber auch die Lichtstrahlen werden zum Teil als Wärmequelle für die Pflanzen nutzbar gemacht, indem sie durch Chlorophyll und Anthocyan, einen in vielen Blüten, Stengeln und Blättern enthaltenen roten resp. blauen Farbstoff, in Wärmestrahlen umgesetzt werden können. Nicht zu unterschätzen sind auch in dieser Hinsicht die durch Verbrennung von Kohlen- und Wasserstoff in der Pflanze erzeugte Eigenwärme (Atmung und Stoffwechsel), die mannigfaltigen Einrichtungen der Pflanzen zur Vermeidung von Wärmeverlust, ihre Fähigkeit für Wärmeleitung aus dem Boden, die Anschmiegung der in höheren Gebirgen wachsenden Pflanzen an den wärmeren Boden (der Boden ist nach Kerner in den Alpen bei 2200 m Höhe um $3{,}6^0$ wärmer, als die umgebende Luft).

Für jede Pflanze kann man fünf wichtige Temperaturabschnitte unterscheiden: 1. tödliche Wärme; 2. Wärme, welche das Leben, ohne es zu töten, zum Stillstand bringt, eine „Wärmestarre" bewirkt; 3. diejenige Wärme, welche einen mehr oder weniger normalen Fortgang der Lebensverrichtungen zuläfst resp. unterhält; 4. Kälte, die „Kältestarre" zur Folge hat; 5. tödliche Kälte. Für die verschiedenen Pflanzenarten ist hierin ein weiter Spielraum gelassen.

Infolge der Schiefe der Ekliptik herrscht nirgends auf der Erde das ganze Jahr hindurch gleichmäfsige Temperatur, selbst wenn man vom Wechsel von Tag und Nacht absieht. Aber die jährlichen Tempe-

raturdifferenzen sind doch nach den Gegenden sehr verschieden, nach den Polen hin und in den Thälern gröfser als am Äquator und auf den Höhen. Ein weiterer Unterschied wird durch die kontinentale oder ozeanische Lage eines Ortes bedingt. Zwischen den kalten Hochgebirgsregionen der warmen und gemäfsigten Zonen und anderseits den kalten Polargegenden besteht der wichtige Unterschied der längeren Sommerzeit dort, der längeren Tagesbelichtung während des kurzen Sommers hier. Alle diese Umstände sind nebst Regen- und Bodenverhältnissen die wichtigsten Faktoren für die geographische Verbreitung der Pflanzen.

Für die Pflanzenwelt der gemäfsigten Zone in Mitteleuropa ist von entscheidendstem Einflusse die Winterkälte, sowie der Gegensatz zwischen kontinentalem und ozeanischem Klima. Während die einen Pflanzen sich mit geringerer Sommerwärme begnügen, wenn nur die Wintertemperatur nicht so tief sinkt, um ihr Erfrieren zu bewirken, vertragen andere während ihrer winterlichen Ruhezeit sehr niedrige Temperaturen und befinden sich wohl, wenn nur im Sommer die Temperatur hoch genug steigt, um ihre normale Fruchtbildung zu ermöglichen. Fuchsien und Myrthen, die bei uns erfrieren, halten sich z. B. im südlichen England im Freien, der Weinstock aber, der bei uns gedeiht, bringt seine Früchte in England wegen zu geringer Sommerwärme nicht zur Reife.

Früher glaubte man, dafs durch Kälte die Zellflüssigkeit zum Gefrieren gebracht, durch die dabei stattfindende Ausdehnung des Wassers ein Zersprengen der Zellwände bewirkt und so der Tod der Pflanze durch Erfrieren herbeigeführt werde. Göpperts Werk: „Über die Wärmeentwickelung in der Pflanze, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe", legte den Grund zu den neueren Anschauungen, die auf folgenden Sätzen beruhen. Eine mechanische Zerstörung der Zellen durch Zersprengen findet nicht statt, sondern die Eisbildung betrifft nur das in die Intercellularräume oder bei einfacheren Pflanzengebilden in die Umgebung der Zelle ausgetretene Wasser. Dem Absterben bei grofser Kälte liegt ein Vorgang chemischer Natur zu Grunde, der auch ohne Eisbildung, bei Temperaturen über $0^0$, eintreten kann. Schnelles oder langsames Auftauen der gefrorenen Pflanzen hat auf die Lebenskraft derselben keinen Einfluss (Gegensatz zu Sachs' Theorie). Das ausgefrorene Wasser verdunstet und kann so bei andauernder Kälte ein Vertrocknen der Pflanzenteile und dadurch deren Tod zur Folge haben; sind aber beim Auftauen noch Eiskrystalle in den Intercellularräumen vorhanden, so kann das ausgetretene, nun wieder flüssige Wasser, sofern der Zellinhalt lebensfähig geblieben ist, wieder aufgesogen werden. Gefrieren der Pflanzen ist also noch nicht Erfrieren.

Über die meisten anderen oben besprochenen Verhältnisse lassen sich in der Schule Versuche nicht vornehmen; doch kann man interessante, hierauf bezügliche Beobachtungen im botanischen Schulgarten, sofern ein solcher vorhanden ist, und im Freien anstellen, z. B. über die herbstliche Entfärbung des Laubes und das erste Aufbrechen der Knospen im

Frühling, über das Faulen zarter Blätter beim ersten Frost (Ricinus), über das frische Grün der Moose und Farne, sowie verschiedener anderer Kräuter (*Geum*, *Bellis*, *Lamium purpureum*) trotz strengen Frostes, über die Ausdauer der Knospen und Samen, die Frostrisse der Bäume etc.

§ 65. Salzlösungen gefrieren bei niedrigerer Temperatur als reines Wasser, und zwar scheidet sich beim Gefrieren zunächst reines Wasser in Eiskrystallen aus. Der Zellsaft, als eine Lösung verschiedener fester Stoffe in Wasser, verhält sich ähnlich.

**Versuch 86.** Man bringt eine Lösung von Kaliumbichromat oder Kupfersulfat teilweise zum Gefrieren. Der gefrorene Teil unterscheidet sich schon durch die blassere Farbe von der zurückgebliebenen konzentrierteren Lösung. Das Gefrieren tritt erst bei einer Temperatur unter $0^0$ ein.

**Versuch 87.** „Ein einige Centimeter dicker, gut abgewaschener und dann abgetrockneter Schnitt einer roten Rübe wird in einer Schale, die man, um die Wasserverdunstung auszuschliefsen, mit einer Glasglocke bedeckt hat, einer Temperatur von etwa $-6^0$ C. ausgesetzt. Ist der Pflanzenteil vollständig gefroren, so findet man seine Oberfläche mit einer Eiskruste bedeckt, die, wie geeignete, bei Temperaturen unter $0^0$ C. ausgeführte mikroskopische Untersuchungen lehren, aus parallel nebeneinander gestellten Eissäulen besteht. Besonders reichliche Eismengen findet man an der Unterseite des Rübenschnittes, da, wo er den Boden der Schale berührt hat. Dies Eis ist nicht rot gefärbt, woraus erhellt, dafs nicht der Zellsaft, sondern fast reines Wasser aus den Zellen des Untersuchungsobjektes herausgefroren ist.“ (Detmer, S. 79.)

§ 66. Beim Gefrieren von lebenden Zellen tritt kein Zerreifsen der Zellhaut ein, wie man aus der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren schliefsen könnte und früher geschlossen hat.

**Versuch 88.** Man läfst Spirogyrafäden im Wassertropfen auf dem Objektträger gefrieren. Es zeigen sich nach dem Auftauen keine Risse in der Zellhaut.

§ 67. Kälte von $-5$ bis $-10^0$ C. tötet Kartoffelknollen und verändert ihren Geschmack — verwandelt einen Teil des Stärkemehles in Traubenzucker.

**Versuch 89.** Man bewahrt Kartoffelknollen eine Nacht bei der angegebenen Temperatur auf. Sie sind steinhart gefroren, zeigen beim Auftauen unnatürliche Weichheit und lassen bei leisem Druck Saft austreten. Sie faulen leicht und haben ihre Keimfähigkeit verloren. Ob die gefrorenen Kartoffeln langsam oder schnell aufgetaut wurden, ist ohne Einfluſs.

§ 68. Niedere Temperaturen wirken um so nachteiliger auf die Pflanzen und Pflanzenteile ein, je wasserreicher diese sind.

**Versuch 90.** Lufttrockene Samen von Erbsen, Bohnen, Weizen werden Stunden lang einer Temperatur von — 5 bis — 10° ausgesetzt. Sie haben ihre Keimfähigkeit, wie der Versuch zeigt, behalten. Gleiche Samen in angequelltem Zustande werden durch dieselbe Kälte getötet und also keimunfähig gemacht.

Anmerkung. Ähnlich verhalten sich die Bäume. Im Winter, wenn sie wasserarm sind, vertragen sie hohe Kältegrade; ein Spätfrost im Frühjahr dagegen tötet sie, weil der Saft dann bereits in sie eingetreten ist.

§ 69. Eine Temperatur von 60 bis 70° C. tötet Weizenkörner und Erbsensamen (Schleichert, S. 44).

**Versuch 91.** 30 gequollene Erbsensamen oder Weizenkörner werden eine Viertelstunde in Wasser von 60 bis 70° gelegt und dann gepflanzt. Sie keimen nicht, während andere 30 Samen, die man sofort nach dem Einquellen gepflanzt hat, sich normal entwickeln.

§ 70. Erfrorenes oder durch Hitze getötetes Protoplasma ist molekular verändert; es läfst z. B. Farbstoffe und Säuren, gegen die es sonst undurchdringlich ist, durchtreten.

**Versuch 92.** Stücke von roter Rübe werden a) ungefroren, b) gefroren in Wasser gelegt. Letztere färben das umgebende Wasser rot, erstere nicht (Detmer, S. 79).

**Versuch 93.** Derselbe Versuch wird mit Rübenstücken wiederholt, deren einige in Wasser auf 60° erhitzt sind: die Wärme bewirkt dasselbe wie die Kälte.

**Versuch 94.** Zwei Blattstielstücke von *Begonia manicata* werden in destilliertes Wasser gelegt, nachdem man das eine in Wasser von 60° gelegt hat, bis es mifsfarbig geworden ist. Hierauf fügt man zu beiden Stücken Chlorcalciumlösung: die eine Flüssigkeit bleibt klar, die andere trübt sich durch Ausscheidung von oxalsaurem Kalk. Das erhitzte Stück läfst also Oxalsäure austreten.

§ 71. Bei der Wichtigkeit der Wärme für das Zustandekommen der zum Bau notwendigen chemischen Prozesse besitzen viele Pflanzen eigentümliche Einrichtungen, um möglichst Wärmeverlust zu verhüten.

**Versuch 95.** Man zieht in Töpfen Keimpflanzen von Cucurbita und Helianthus. Sobald die Kotyledonen sich über die Erde erhoben haben, beobachtet man, dafs die bei Tage ausgebreiteten Keimblätter sich abends bei Eintritt kühlerer Witterung nach oben zusammenlegen, wodurch die Wärmeausstrahlung vermindert wird (Kerner, S. 496).

§ 72. Es ist bekannt, dafs man die Winterknospen verschiedener Bäume und Sträucher dadurch zu einer frühzeitigen Entwickelung bringen kann, dafs man abgeschnittene Sprosse derselben im warmen Zimmer oder Gewächshaus in Wasser stellt. Man kann sich z. B. auf diese Weise durch gegen das Ende des Februar abgeschnittene Sprosse von

*Syringa vulgaris*, *Cornus mas*, Weiden künstlich einen Vorfrühling im Zimmer verschaffen und könnte hieraus folgern, dafs den durch die Winterkälte zu unfreiwilliger Ruhe gezwungenen Pflanzen lediglich die nötige Wärme zugeführt zu werden brauchte, um den normalen Fortgang ihrer Entwickelung zu bewirken. Dem ist jedoch nicht so. Versuche (besonders von Müller-Thurgau) haben vielmehr bewiesen, dafs die Winterruhe den Pflanzen notwendig ist, oder dafs ihr Bau durch tausendjährige Gewöhnung darauf eingerichtet ist. Deshalb gelangen zu Anfang Januar ins warme Zimmer gebrachte Knospen doch nicht vor Anfang März zur Entwickelung und Kartoffelknollen, die man im Herbste ins warme Zimmer bringt, beginnen erst um Neujahr zu keimen. Kartoffelknollen dagegen, die man im August unmittelbar nach dem Ausgraben vier Wochen einer Temperatur von $0^0$ aussetzte, entwickelten, nachdem sie in gute Gartenerde gebracht und begossen worden waren, ihre Augen sofort.

**Versuch 96.** Zweige von Syringa, Cornus, Salix etc. werden in verschiedenen Wintermonaten und Ende Februar abgeschnitten und im warmen Zimmer in Wasser gestellt, am besten unter einer Glasglocke, um sie in feuchter Luft zu erhalten. Die Entwickelung der Knospen erfolgt nach den oben angegebenen Gesetzen.

---

# VIII. Das Wachstum.

§ 73. Den Pflanzen, als organischen Wesen, wohnt die Fähigkeit inne, unter Aufnahme von Stoffen der Aufsenwelt ihr Gewicht und Volumen zu vergröfsern, d. h. zu wachsen, bis sie ein gewisses, von der Natur vorgeschriebenes, individuell und generisch verschiedenes Maximum erreicht haben, oder, anders ausgedrückt, in einer gewissen Periode überwiegt bei ihnen die Einnahme die Abscheidung, sofern die sonstigen Bedingungen des Daseins erfüllt sind. Diese Bedingungen zerfallen in äufsere oder physikalische und innere oder angeerbte. Als erstere haben zu gelten die Anwesenheit aufnehmbarer Nährstoffe und von Wasser im Boden, sowie von Kohlensäure und Sauerstoff in der Luft; ferner Wärme, Licht und Schwerkraft. Die inneren liegen in den Organisationsverhältnissen der Art, welche die mannigfaltigen Formen, die erreichbaren Gröfsenverhältnisse, die Perioden des Wachstums, das Alter der Pflanzen beeinflussen. Während die inneren Bedingungen des Wachstums — wie schon in der Einleitung bemerkt ist — sich unserer Forschung entziehen, sind die Einwirkungen der wichtigsten physikalischen Kräfte auf die Entwickelung der Pflanzen in den vorangehenden Abschnitten besprochen worden. Hier sollen nur das Gesamtresultat der Einwirkung beider

Arten von Kräften, sowie einige Erscheinungen, welche in die vorhergehenden Abschnitte nicht passen, durch Versuche erläutert werden.

Die Imbibition (Wasseraufnahme) der Pflanzenteile und der daraus hervorgehende Turgor leiten das Wachstum ein, indem sie durch Auseinanderlagerung der festen Teile die Einlagerung neuer organischer Substanz ermöglichen. Hierdurch wird der betreffende Pflanzenteil verhältnismäfsig wasserärmer, also wieder imbibitionsfähig und dadurch wieder wachstumsfähig gemacht. Das verschiedene Verhalten der Gewebe in dieser Beziehung bedingt eine Gewebespannung, indem die einen Gewebe sich stärker auszudehnen bestrebt sind, die anderen, ihnen parallel gehenden, dies durch geringere Ausdehnung verhindern (vergl. § 10, Versuche 16 und 17).

Die Aufnahme neuer Stoffe in den Pflanzenleib ist natürlich noch nicht ohne weiteres als ein Wachstum desselben anzusehen, so wenig als die Aufnahme von Nahrungsstoffen seitens eines Tieres auch eine Verwertung im Interesse des Organismus garantiert. Die organische Einverleibung des Aufgenommenen, bei den Pflanzen speziell die Verwandlung desselben in organische Substanz und die Verwendung dieser zur Herstellung neuer, dem Gesamtorganismus dienender Teile ist vielmehr erst wahres Wachstum.

Nicht nur jeder Pflanzenkörper als Ganzes hat eine gewisse Zeit des Wachstums, Stillstandes und Verfalles, sondern auch jedes Organ desselben macht eine ähnliche Entwickelung durch, deren Verlauf sich zeitlich durchaus nicht mit der des ganzen Individuums deckt. Da ferner, wie aus den früheren Versuchen hervorgeht, die Bedingungen des Gedeihens sowohl im Verlaufe des Jahres, als auch des Tages wechseln, so wird durch diese regelmäfsig wiederkehrenden Perioden das Wachstum in entsprechender Weise beeinflufst. Man unterscheidet demnach eine sogenannte grofse Wachstumsperiode, welche das Gesamtleben der Pflanze oder eines Pflanzenteiles umfafst, von einer kleinen Periode, durch den Wechsel von Tag und Nacht bedingt. Man müfste bei mehrjährigen Pflanzen und Organen eigentlich noch eine mittlere Periode unterscheiden, welche dem Jahresverlaufe entspricht.

Bei den Versuchen über das Wachstum handelt es sich zunächst darum, den Verlauf desselben beim Vorhandensein der normalen äufseren oder physikalischen Bedingungen festzustellen, sodann den Einfluſs zu ermitteln, welchen die einzelnen, von aufsen einwirkenden Kräfte ausüben. Das Wachstum äufsert sich in ersterer Beziehung in vierfacher Richtung, nämlich nach Form, Gewicht, Volum und der geleisteten äufseren Arbeit. Von den physikalischen Kräften verdienen, abgesehen von den bereits in den vorhergehenden Paragraphen besprochenen Punkten, besondere Berücksichtigung die Einwirkung von Licht und Schwere.

§ 74. Um das Wachstum einer ganzen Pflanze nachzuweisen, können im allgemeinen zwei Methoden dienen, die Wägung und die

Messung. Nun braucht zwar nicht jedes Wachstum mit einer Gewichtszunahme verbunden zu sein, denn die Gewichtszunahme ist zunächst nur eine Folge der Nahrungsaufnahme; diese bedingt aber noch nicht sofortige Verwendung zum Aufbau neuer Pflanzenteile, kann vielmehr teils in Form von anorganischer Substanz, teils in organischer Form als Reservestoff aufgespeichert bleiben, ohne augenblicklich eine Vergrößerung des eigentlichen Pflanzenleibes zur Folge zu haben. Ja, es kommt sogar der Fall vor, daß ein wesentliches Wachstum bei Substanzverminderung, also Gewichtsabnahme, stattfindet, nämlich beim Wachsen von Pflanzen im Dunkeln. Allein von diesen außergewöhnlichen Fällen abgesehen, geht das Wachstum mit einer entsprechenden Nahrungsaufnahme, also Gewichtsvermehrung, parallel.

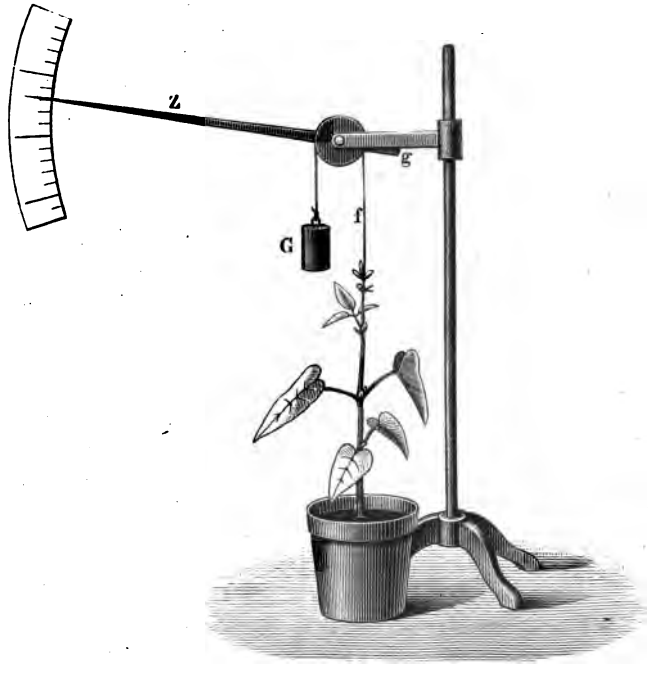
**Versuch 97.** Man zieht eine Pflanze über Nährlösung in einem Cylinder, den man mit Keimpflanze und Inhalt beim Beginn des Versuches und in regelmäßigen Pausen wägt, nachdem man jedesmal das durch Verdunsten — aus Pflanze und Wasserfläche — verloren gegangene Wasser bis zu der genau markierten ersten Höhe aufgefüllt hat. Die neu gefundenen Gewichte, vermindert um das ursprünglich festgestellte, ergeben die Gewichtszunahme der Pflanze. Freilich liefert dieser Versuch nur für eine kurze Zeit annähernd richtige Resultate, da bald — nach 8 bis 14 Tagen — infolge des Verbrauches der Nährsalze aus der Lösung das normale Wachstum beeinträchtigt werden wird. Ebendeshalb kann aber auch die geringe Menge der Nährsalze unberücksichtigt bleiben, die während des Versuches von der Pflanze aufgenommen werden.

**Versuch 98.** Fig. 66 (a. f. S.). Bestimmung des Stengelwachstums mittels des Auxanometers. Ein dünner Faden *f* wird mit dem einen Ende an der zu prüfenden Pflanze, etwa einer Keimpflanze von Phaseolus, angebunden oder angehakt, läuft dann über eine leicht bewegliche Rolle, an welcher ein langer, mit Gegengewicht *g* versehener Zeiger *z* befestigt ist, und ist an seinem andern Ende durch ein kleines Gewicht *G* belastet. Der Zeiger giebt auf einer kreisförmigen Skala die Wachstumsgeschwindigkeit in vergrößertem Maßstabe an (im Verhältnis des Radius der Rolle zur Länge des Zeigers). Für die Schule dürfte dieser einfache Apparat ausreichend sein. Für feinere und längere Zeit umfassende Beobachtungen bedient man sich selbstregistrierender Wachstumsmesser von sehr sinnreicher Einrichtung (Pfeffer, Sachs). Bei ihnen läuft der Faden über eine Rolle ohne Zeiger und ist mit seinem Ende an einem Kloben befestigt, der den wagerechten Zeiger trägt. Der Kloben gleitet an einer Messingstange senkrecht herunter, wenn die mit dem andern Fadenende verbundene Pflanze wächst. Hierbei zeichnet die Spitze des Zeigers auf einem geschwärzten, in regelmäßige Rotation um eine vertikale Achse versetzten Cylinder die Wachstumskurve richtig auf, vorausgesetzt, daß der ganze Apparat sehr sorgfältig gearbeitet und äußerst solide aufgestellt ist. Bei beiden Meßmethoden hat man aber zu berücksich-

tigen, dafs einseitige Beleuchtung nach den heliotropischen Gesetzen eine Neigung des Stengels nach dem Lichte bewirken und dadurch die Richtigkeit der Beobachtung in Frage stellen würde. Man mifst daher entweder im Dunkeln — bei kurzer Beobachtungszeit —, oder man stellt dem Fenster parallel hinter der Pflanze einen Spiegel auf (Näheres siehe Detmer, Praktikum, S. 256, und Sachs, Vorlesungen, S. 677).

**Versuch 99.** Messung des Pflanzenwachstums mittels eines Mikroskopes (Detmer) oder eines Fernrohres (Sachs). Man bringt eine in feuchten Sägespänen zur Keimung ge-

Fig. 66.



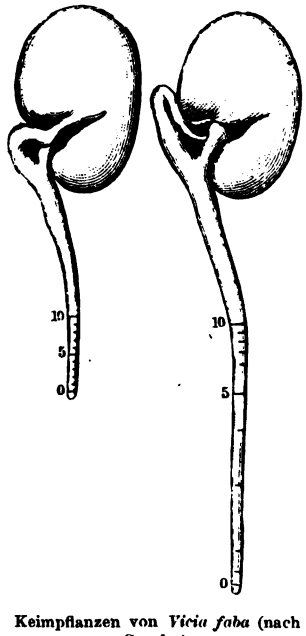

Einfacher Auxanometer zur Messung des Längenwachstums.

brachte Bohne oder Erbse, deren Wurzel eine Länge von einigen Centimetern erreicht hat, in ein senkrecht aufgestelltes Trichterrohr, welches mit seinem unteren Ende in Wasser taucht, und bedeckt den Samen mit feuchter Watte und das obere Ende des Trichterrohres mit einer Glasplatte. Auf das untere Ende der in die Glasröhre hineinreichenden Wurzel richtet man ein horizontal gestelltes Mikroskop mit schwacher Vergröfserung. So kann man schon nach 20 Minuten einen merkbaren Zuwachs deutlich machen, wenn man mit Hilfe eines Spiegels wie in Versuch 95 heliotropische Krümmungen der Wurzel vermeidet. Sachs benutzte als Objekt Sporenträger eines auf feuchtem Brot wachsenden

Pilzes — Phycomyces — und zur Wahrnehmung der kleinsten Gröfsenzunahme ein Fernrohr mit Mikrometerskala. Der Pilz wurde, um heliotropische Krümmungen auszuschliefsen, durch ein Uhrwerk langsam um eine vertikale Achse bewegt.

§ 75. An jedem wachsenden, aus Zellen zusammengesetzten Pflanzenteile, an Wurzel, Stengel und Blatt, sind drei Regionen zu unterscheiden, eine der Zellbildung, an Stengel- und Wurzelspitzen Vegetationskegel genannt, eine zweite der Zellstreckung und endlich eine, deren Zellen ausgewachsen sind. Haben alle Zellen des Pflanzenteils den letzten Zustand erreicht, so ist die grofse Wachstumsperiode desselben vollendet. Aus diesem Verlaufe ergiebt sich, dafs die Region des gröfsten Wachstums an den genannten Organen beständig den Platz wechselt.

Fig. 67.




Keimpflanzen von *Vicia faba* (nach Sachs).

**Versuch 100.** Fig. 67. Makroskopische Wachstumsbeobachtung. Grofse Wachstumsperiode. Um ohne besondere Apparate an Wurzeln, Stengeln und Blättern das Wachstum überhaupt und zugleich die Zeit und Region der Streckung festzustellen, bringt man an den zu messenden Teilen unter Zuhilfenahme eines Millimetermafsstabes möglichst feine Tuschestriche mit einem Marderpinsel an (vgl. Versuch 74).

a) Zur Beobachtung der Wurzeln benutzt man mit Vorteil den in Fig. 53. abgebildeten Zinkkasten oder auch dieselbe Vorrichtung wie in Versuch 99. Noch einfacher befestigt man die Keimpflanze, die Wurzel nach unten, mit einer Stecknadel an der Innenseite eines Korkes, den man auf eine mit etwas Wasser versehene weithalsige Glasflasche aufsetzt. Ferner hat man durch Aufstellung des Apparates im Dunkeln die heliotropischen Krümmungen zu vermeiden und für recht gleichmäfsige, etwas hohe Temperatur zu sorgen. Man kann nun beobachten, dafs jede durch zwei Tuschestriche begrenzte Zone der Wurzel ihre grofse Wachstumsperiode für sich hat, derartig, dafs immer in einiger Entfernung von der Wurzelspitze die gröfste Streckung vorhanden ist. Da nun die Wurzelspitze durch Zellteilung immer weiter wächst, so schreitet diese Zone gröfsten Wachstums in demselben Mafse mit vorwärts, und in gleicher Weise vermindert sich das Wachstum der nach rückwärts gelegenen Wurzelteile (vergl. § 6, Härchenzone).

b) Bei Stengeln verfährt man wie bei Wurzeln; auch hat man hier natürlich begrenzte Stellen, die Internodien, deren Wachstum man ohne weiteres mit dem Mafsstabe messen und untereinander vergleichen kann. Die in Streckung befindlichen Teile sind gröfser als bei den Wurzeln — 35 mm bei Phaseolus —; die Internodien sind untereinander verschieden, die mittleren in der Regel am längsten.

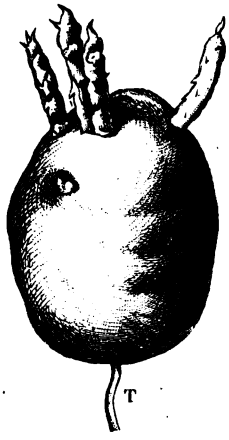
c) Man kultiviert Kürbis- oder Tabakspflanzen in grofsen Blumentöpfen, stellt sie, nachdem einige Blätter entfaltet sind, unter grofse Glasglocken und setzt sie bei Lichtzutritt, jedoch nicht in direktem Sonnenlichte, möglichst konstanter Temperatur aus, nachdem man an der Basis der Spreite einiger junger Blätter entweder je einen Tuschepunkt oder entlang der Mittelrippe wie oben eine Skala aufgetragen hat. Auch im Freien diesen Versuch vorzunehmen ist lehrreich, obgleich oder gerade weil man hier auf gleichmäfsige Temperatur nicht rechnen kann; es läfst sich hier zwar der Verlauf der grofsen Periode nicht so gut wie im gleichmäfsig warmen Zimmer verfolgen, aber man kann dafür die Einwirkung der Temperatur besser kennen lernen, deren Schwankungen in dem verschiedenen Wachstume der Blätter sofort zum Ausdrucke kommen.

§ 76. Die Kraft wachsender Pflanzenteile ist aus vielfachen Beispielen des gewöhnlichen Lebens bekannt. Ganz besonders hört man von Wurzeln, die in Spalten zwischen Felsblöcken eingedrungen sind und durch ihre Verdickung die Steinmassen auseinander gedrängt haben, obwohl dabei oft viele Centner zu heben oder beiseite zu schieben waren. Zum Lichte strebende Keimpflanzen und Sporenträger von Hutpilzen nehmen oft verhältnismäfsig grofse Erdklumpen mit in die Höhe. Die Wurzeln alter Laubholzbäume pflegen sich über den Erdboden zu erheben; d. h. gegen ihre Unterlage sich stemmend, heben sie aufser ihrem eignen das Gewicht des ganzen Stammes und der Krone oft im Betrage von mehreren Tausend Kilogramm empor. Einige direkte Versuche, um die Kraft zu demonstrieren, mit welcher Wurzeln in die Unterlage eindringen, sind im Abschnitt über Geotropismus angegeben (Versuch 72); hier sei noch auf folgenden hingewiesen.

**Versuch 101.** „Wenn man Lebermoose in einem dunstgesättigten Raume auf feuchtes, mehrfach zusammengelegtes Filtrierpapier legt, so treiben sie schon nach 48 Stunden Rhizoiden, welche das Papier durchwachsen. Die Löcher, in welchen jetzt die Zellen der Rhizoiden stecken, waren in dem Papiere gewifs nicht vorgebildet; das Fasergeflecht des Filtrierpapiers ist nämlich so dicht, dafs nicht einmal die Stärkekörnchen von Mais, welche doch nur einen Durchmesser von etwa zwei Mikromillimeter haben, den genügenden Raum zum Durchschlüpfen finden, um so weniger also die Rhizoiden der Lebermoose, welche einen Durchmesser von 10 bis 35 Mikromillimeter zeigen." (Kerner, Pflanzenleben 1, 480.)

§ 77. Korrelationserscheinungen. Nicht alle Organe der Pflanze kommen auch wirklich zur Entwickelung. Die kräftigeren und günstiger — für die ganze Pflanze — gelegenen entwickeln sich, die weniger günstig von der Natur bedachten verkümmern oder führen eine Art Schlafleben, weshalb man auch von „schlafenden Augen“ spricht. Werden aber die kräftigeren Konkurrenten durch irgend einen Zufall beseitigt, braucht die Pflanze, der alten Organe durch Mensch oder Tier, Trockenheit, Kälte beraubt, neue, kommt die bisher von den beseitigten Organen verbrauchte Nahrung den schlafenden Augen zu gute, dann treten diese aus ihrer Ruhe heraus und entwickeln sich. Solche Erscheinungen nennt man Korrelationserscheinungen. Man macht von dieser Fähigkeit der Pflanzen in der Gärtnerei vielfach Gebrauch, z. B. beim Ziehen dichter Hecken, ast- und blütenreicher Fuchsien etc.

Fig. 68.




Keimende Kartoffelknolle (nach Detmer).
*T* Tragfaden. Nur die oberen Knospen kommen zur Entwickelung.

**Versuch 102.** Zwei Pflanzen von Phaseolus werden in Töpfen kultiviert. An der einen wird das Epikotyl, sobald es über den Boden getreten ist, geköpft. Es entwickeln sich dann statt dessen die in den Achseln der Kotyledonen sitzenden Knospen. Die andere Pflanze dient als Vergleichsobjekt.

**Versuch 103.** Fig. 68. (Detmer, S. 331.) Kartoffelknollen, welche man mit dem Nabel — der Stelle, an welcher der Tragfaden sitzt — nach unten ohne Wasserzufuhr kultiviert, entwickeln nur die am Gipfel stehenden Knospen. Schneidet man diese aber ab, so kommen die weiter unten stehenden zur Entwickelung.

§ 78. Das Licht ist, wie in dem Abschnitte über Assimilation durch Versuche erläutert ist, zur Erzeugung der Pflanzenbaustoffe aus den anorganischen Salzen des Bodens und der Kohlensäure der Luft notwendig. Man ist versucht, zu glauben, daſs es auch für die Verwendung der Bausteine zum Aufbau des Pflanzenkörpers von entscheidendem Einfluſs sei. Genaue Versuche haben aber bewiesen, daſs die Verarbeitung der organischen Substanz am besten im Dunkeln vor sich geht, ja daſs unter Umständen das Licht geradezu einen hemmenden Einfluſs auf die Bauthätigkeit ausübt. Wenn hier von Licht gesprochen wird, so ist wiederum wie früher ein Unterschied zwischen den beiden Hauptsorten, dem rotgelben und dem blauvioletten Licht, zu machen. Nur letzteres hemmt das Wachstum. Da hiernach im Dunkel der Nacht ein stärkeres Wachstum stattfindet als bei Tage, so tritt eine tägliche Periodicität des Wachstums ein, welche noch dadurch kompliziert wird, daſs gewöhnlich in den wärmsten Tagesstunden, am

Nachmittag, infolge dieser Wärme trotz des hellen Lichtes eine kleine Steigerung des Wachstums eintritt. Das Wachstumsmaximum des Tages ist gewöhnlich kurz vor Sonnenaufgang, das Minimum kurz vor Sonnenuntergang.

**Versuch 104.** Keimpflanzen von Phaseolus oder Cucurbita werden in gleichen Töpfen gezogen, von denen die einen dem Lichte ausgesetzt, die andern unter einen Pappkasten unmittelbar daneben (der gleichen Temperatur wegen) gestellt werden. Die letzteren entwickeln sich nicht normal (vergl. Versuch 46 und § 57); sie verlängern die Sprofsachsen und entwickeln nur ganz unvollkommene Blattspreiten, welche, allein dem Geotropismus folgend, sich senkrecht stellen. Alle Teile bleiben blafs und unverhältnismäfsig zart. Die Verholzung bleibt mangelhaft, weshalb einer stärkeren Längsstreckung der mit bedeutender Turgorausdehnung versehenen Markzellen kein genügender Widerstand geleistet wird (vergl. Versuche 16 und 17).

Zu beachten ist noch bei Ausführung dieses Versuches, dafs beiderlei Pflanzen nicht in direktem Sonnenlichte stehen dürfen, damit nicht unter den Pappkästen eine abnorm hohe Temperatur entsteht und so die Wärmebedingungen verschieden gestaltet werden.

**Versuch 105.** Eine Anzahl von Erbsensamen werden in feuchten Sägespänen zur Keimung gebracht, bis die Hauptwurzeln etwa 2 cm lang sind. Hierauf werden möglichst gleich entwickelte Exemplare, nachdem ihre Wurzeln wie in Versuch 100 mit Tuschestrichen versehen sind, teils am Lichte (Spiegel! vergl. Versuch 98), teils unter einem Pappkasten über Brunnenwasser gezogen. Man findet, dafs am Lichte der Zuwachs geringer ist als bei Lichtabschlufs. Hierbei läfst sich gleichzeitig die kleine Periode des Wachstums beobachten.

§ 79. Einflufs des Lichtes auf die Anatomie der Laubblätter (Stahl, Jena 1883). Die Blätter unserer einheimischen Laubbäume haben an der Oberseite eine Schicht dicht aneinander schliefsender chlorophyllreicher Zellen (Palissadenparenchym), an der Unterseite lückenhaftes, chlorophyllarmes Gewebe (Schwammparenchym). Stahl fand, dafs diese Anordnung lediglich vom Einflufs des Lichtes abhängt. Schattenblätter zeigen eine andere Anatomie, und Blätter, die man künstlich umdreht, so dafs die bisherige Unterseite vom Lichte getroffen wird, ändern dem entsprechend die Anordnung dieser beiden Parenchymarten.

**Versuch 106.** Junge Blätter von Buchen (*Fagus silvatica*) werden so gedreht und befestigt, dafs die Unterseite vom Lichte getroffen wird. Sie zeigen im erwachsenen Zustande die Palissadenschicht an der nun oben gelegenen, die Schwammschicht an der dem Lichte abgewendeten Seite.

§ 80. Blüten und Früchte gedeihen im Dunkeln normal.

**Versuch 107.** An einer Feuerbohne wird ein junger Blütenstand in einen Pappkasten eingeschlossen oder durch Umhüllung mit einem

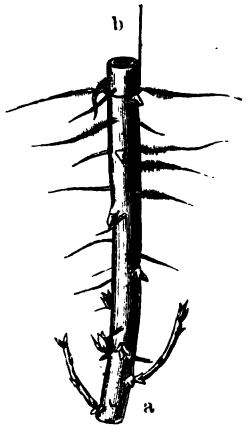
Beutel von dichtem, schwarzem Stoff vom Lichte abgeschlossen. Die Entwickelung erfolgt normal.

§ 81. Licht und Schwere beeinflussen in der auffallendsten Weise die Entstehung und Ausbildung von Organanlagen. Unter der Rinde von Weiden- und andern Zweigen bilden sich, wenn man sie in feuchter Luft kultiviert, Wurzel- und Astknospen, und zwar bilden sich, wenn man sie in natürlicher Stellung aufrecht befestigt, unten Wurzelfasern, am oberen Ende Sprosse. Diese „Polarität“ wird aber nach Vöchtings Versuchen durch Licht und Schwere beeinflufst. Das Licht läfst bei einseitiger Einwirkung an der beleuchteten Seite Sprosse, an der verdunkelten Wurzelanlagen entstehen. Dafs auch die Schwerkraft in ähnlicher Weise wirkt, beweist zunächst das Verhalten von Weidenzweigen, die man in umgekehrter Stellung kultiviert, dann aber der Umstand, dafs Weidenzweige, welche mittels eines Klinostaten in schnelle Umdrehung versetzt werden, nach der Umdrehungsachse hin Sprosse, am peripherischen Ende aber Wurzeln treiben.

Fig. 69.

Stück eines Weidenzweiges, aufrecht in einem feuchten Glascylinder aufgehängt. Bei *a* entstehen Sprosse, bei *b* Wurzeln (nach Hansen).

Fig. 70.




Stück eines Weidenzweiges, in umgekehrter Lage gehalten, *a* früheres Oberende, *b* früheres Unterende (nach Hansen).

Auch die Zygomorphie (Symmetrie) der Blüten ist nach Vöchtings Untersuchungen (1886) unzweifelhaft eine Wirkung der Schwerkraft.

**Versuch 108.** Fig. 69. Ein Weidenzweig wird aufrecht in einem bedeckten Glascylinder, der etwas Wasser enthält, befestigt und dem Lichte ausgesetzt. Er entwickelt unten Wurzeln, oben Sprosse. Ein sonst in ähnlicher Weise behandelter, aber im Dunkeln gehaltener Weidenzweig verhält sich ebenso.

**Versuch 109.** Der Versuch wird in ähnlicher Weise eingeleitet, der Glascylinder aber unter einen Pappkasten gestellt, welcher durch einen Längsspalt das Licht nur einseitig auf den Weidenzweig einwirken läfst. An der dem Lichte abgewendeten Seite entwickeln sich Wurzeln, an der beleuchteten Sprosse.

**Versuch 110.** Fig. 70. Ein Weidenzweig wird in umgekehrter Stellung und am Lichte in einem feuchten Cylinder aufgehängt. Es

entsteht ein Wettkampf zwischen dem natürlichen Bestreben der Pflanze, welches darauf gerichtet ist, oben Sprosse, unten Wurzeln zu entwickeln, und den Kräften des Lichtes und der Schwere, welche ihm entgegengesetzt wirken. Zuerst kommt die natürliche Anlage des Pflanzenteils zur Geltung; es bilden sich am oberen Ende Wurzeln, am unteren Sprosse. Dann aber wirken die physikalischen Kräfte in der Weise, dafs auch am unteren Ende Wurzelanlagen und am oberen Sprofsanlagen zur Entwickelung kommen.

---

# IX. Bewegungserscheinungen.

§ 82. Alle Wachstums- und Lebenserscheinungen der Pflanzen sind mit Bewegungen verknüpft. Nahrungsaufnahme, -Beförderung und -Umwandlung, Zellbildung und -Vergrösserung beruhen auf Bewegungen kleinster Teile, die sich unserer direkten Wahrnehmung nur wegen deren Mangelhaftigkeit zum grösten Teile entziehen. Auch hier haben aber sorgfältige mikroskopische Beobachtungen, sowie Benutzung von Fernröhren und andern genauen Mefsapparaten manche merkwürdige Wahrnehmung ermöglicht, so Kernteilung und Bildung von Zellen, Konjugation, Bewegung von Schwärmsporen und Spermatozoiden, Lebensvorgänge, welche, wie die Zellteilung und Zygosporenbildung von Fadenalgen, zum Teil auch in der Schule leicht zur Wahrnehmung gebracht werden können. Auch die als Rotation und Circulation bezeichneten Protoplasmaströmungen, welche ein dem Blutumlauf der Tiere ähnliches Bild gewähren und wohl auch ähnlichen Zweck haben, bieten Gelegenheit zu einer interessanten Demonstration.

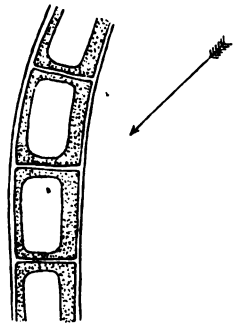
Die heliotropen und geotropen Krümmungserscheinungen, die als besondere Abschnitte behandelt worden sind, gehören nach den neuesten Forschungen in den grofsen Rahmen von Bewegungen, deren Princip sich in folgendem Gesetze zusammenfassen läfst: Alle von aufsen auf wachsende Pflanzenteile einwirkenden, kontinuierlichen Kräfte hören erst dann auf, die Richtung der Pflanzenteile zu ändern, wenn diese in eine Gleichgewichtslage zur einwirkenden Kraft gelangt sind (Hansen, S. 259). Wie Sonnenlicht und Schwere wirken daher auch Feuchtigkeit (Hydrotropismus), strahlende Wärme (Thermotropismus), elektrische Ströme (Elektrotropismus), strömendes Wasser (Rheotropismus). Bei ihnen allen beobachtet man eine Verdickung resp. Verdichtung des Protoplasmas auf der konkaven Seite der Krümmungszone (bei positiver Krümmung), womit eine vermehrte Absonderung von Zellhautsubstanz auf dieser Seite und eine leichtere Imbibition und Einlagerung von neuen, zum Wachstum dienenden Teilen auf der konvexen Seite Hand in Hand geht. Fig. 71. (Vergl. den Einfluss des Turgors auf das Wachstum, § 73.)

Der Grund, weshalb die Pflanzenteile sich diesen Kräften gegenüber verschieden verhalten, weshalb z. B. der Schwerkraft gegenüber sich die einen positiv, die andern negativ zeigen, liegt offenbar in der inneren Natur der Pflanzen begründet und entzieht sich unserer Beobachtung. Doch tritt überall die Zweckmäfsigkeit der Bewegungen hervor. Von den meistens recht schwierigen Versuchen dieser Art eignet sich für die Schule nur der Beweis des positiven Hydrotropismus der Wurzeln.

Alle sonst im Pflanzenreiche beobachteten, zum Teil ganz rapiden Bewegungen lassen sich in folgende Gruppen zusammenfassen: 1. Stofsreize, 2. Berührungsreize, 3. chemische Reize, 4. Austrocknungserscheinungen.

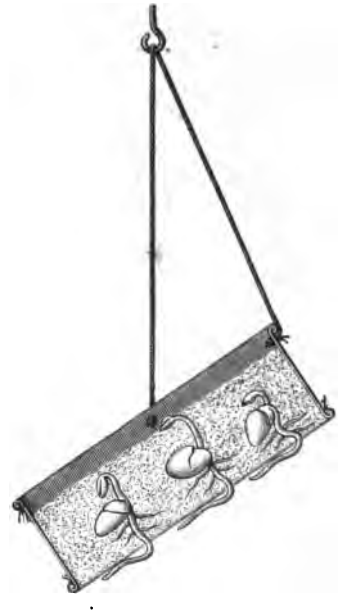
§ 83. Hydrotropismus. Ungleiche Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft, welche wachsende Pflanzenteile umgiebt, bewirken Krümmungen der gereizten Teile entweder nach der feuchteren Seite (positiver Hydrotropismus) oder nach der trockneren (negativer Hydrotropismus). Wurzeln verhalten sich positiv, Sporenträger von Mucor negativ hydrotrop.

Fig. 71.



Schematische Darstellung der Protoplasmalagerung eines positiv reagierenden Pflanzenteils bei einem in der Richtung des Pfeiles wirkenden, kontinuierlichen Reiz. Das Protoplasma bildet auf der Seite des Reizes einen dickeren Wandbelag.

Fig. 72.



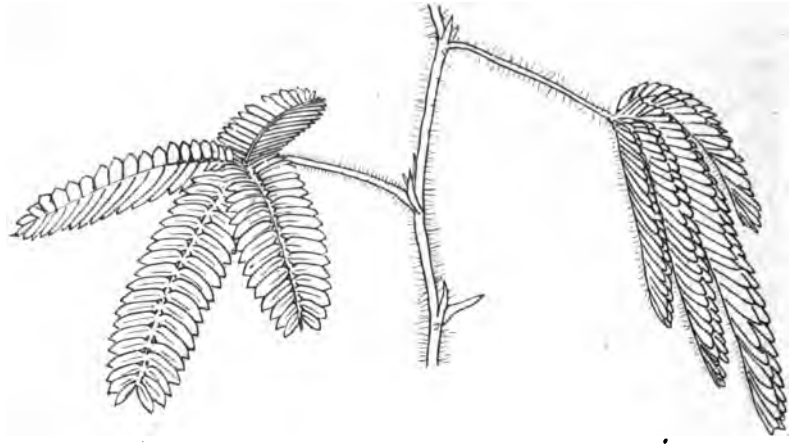
Apparat zum Nachweis des Hydrotropismus der Wurzeln (nach Detmer).

**Versuch 111.** Fig. 72. Ein Reifen von starkem Zinkblech, 5 cm breit, 20 cm im Durchmesser haltend, wird beiderseits mit weitmaschiger Gaze überbunden, nachdem man den Apparat mit feuchten Sägespänen gefüllt und in diese angequellte Samen von Phaseolus, Pisum, Zea gebracht hat. Diese Scheibe hängt man unter einem Pappkasten so auf, dafs sie etwa unter einem Winkel von $45^0$ geneigt ist. Die Wurzeln

der Keimpflanzen treten nach einiger Zeit durch die Öffnungen der unteren Gazebedeckung hervor, wachsen aber nicht, dem Geotropismus folgend, nach unten weiter, sondern schmiegen sich der feuchten Sägespänenschicht an. Bringt man dagegen den Apparat in eine sehr feuchte Atmosphäre, z. B. unter eine grofse Glasglocke (einen abgesprengten Schwefelsäureballon), so wachsen die Wurzeln, dem Geotropismus allein folgend, senkrecht nach unten, womit der positive Hydrotropismus der Wurzeln bewiesen ist.

§ 84. Stofsreize. Bei *Mimosa pudica* und andern Arten derselben Gattung, bei *Acacia lophantha*, Robinia, Oxalis und noch andern Pflanzen beobachtet man, wenn man die ganze Pflanze erschüttert oder

Fig. 73.



*Mimosa pudica.* Links ein ungereiztes, rechts ein gereiztes Blatt (nach Detmer).

bestimmte Blattteile berührt, Bewegungen der Blätter, welche an die Schlafstellung derselben (s. Heliotropismus, § 57) erinnern, aber vom Lichte durchaus unabhängig sind und viel schneller erfolgen als jene Bewegungen. Auch die Staubgefäfse von *Berberis vulgaris*, von Cynareen und Cichoriaceen reagieren durch eigentümliche Bewegungen (Krümmungen) auf denselben Reiz. An den genannten Blättern hat die Untersuchung gelehrt, dafs auf den Berührungsreiz hin Wasser aus den Gelenken der Blätter in das benachbarte Stengel- und Blattstielgewebe austritt und dadurch ein Schlaffwerden der Gelenke bewirkt wird. Wenn sich das Schwellgewebe des Gelenkes nach einiger Zeit wieder mit Wasser versorgt hat und straff geworden ist, so reagiert es von neuem auf diesen Reiz.

**Versuch 112.** Fig. 73. *Mimosa pudica*, deren Samen in jeder Samenhandlung zu erhalten sind, wird aus diesen in Töpfen gezogen. Feuchtigkeit und Wärme — mindestens 20° C. — sind Bedingung des Gedeihens, daher mufs man die Pflanzen unter Glasglocken, die des Luft-

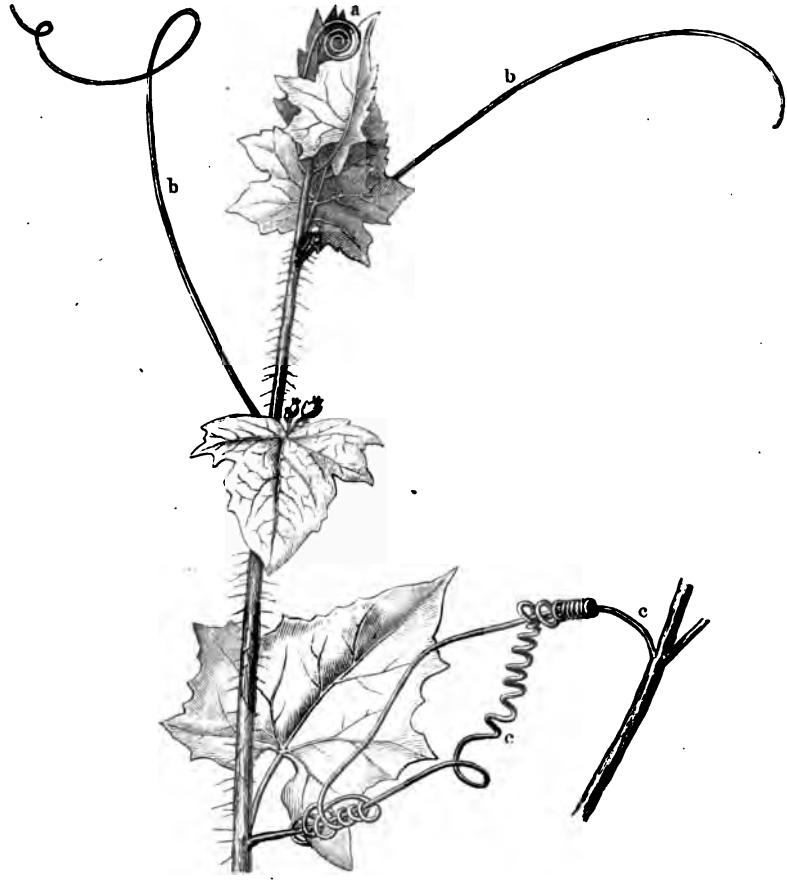
zutrittes wegen unten auf Klötzchen stehen, und im warmen Sonnenschein kultivieren. Mit dieser Pflanze nimmt man nun folgende Experimente vor: a) Die ganze Pflanze wird durch einen Stofs an den Topf erschüttert. In wenigen Secunden nehmen sämtliche Blätter die in Fig. 73 rechts angegebene Stellung ein. b) Ein Fiederblättchen am Ende eines Blattes wird kräftig berührt. Der Reihe nach klappen sich von dem berührten Paare an sämtliche Fiederblättchen des Blattes paarweise zusammen, und schliefslich senkt sich auch noch der Hauptstiel. c) Man berührt mit einem spitzen Gegenstande das Hauptgelenk des Blattes von oben. Bewegung tritt nicht ein. d) Man berührt ebenso die Unterseite des Gelenkes. Die Bewegung erfolgt. e) Man schneidet mit einem scharfen Messer ein Blatt dicht über dem Gelenke ab. Es tritt an der unteren Hälfte der Schnittfläche Wasser aus, welches bei unversehrtem Blatt in den Blattstiel abgeflossen sein würde.

**Versuch 113.** Staubgefäfse von Centaurea, Carduus, Cichorium werden an abgeschnittenen Blütenköpfen mit einer Nadel berührt. Ihre Fäden krümmen sich sämtlich nach aufsen.

§ 85. Berührungs- oder Kontaktreize (Nutationsbewegungen). Eine grofse Zahl von Pflanzen, deren Stengel zu schwach sind, sich selbst aufrecht zu halten, besitzen die Fähigkeit, durch Umwinden fester Stützen mittels der biegsamen Stengel oder durch Anklammern an andere Pflanzen, an Mauern und Fäden mittels Ranken sich aufzurichten und so zum Lichte emporzustreben. Die ersteren nennt man windende, die zweiten rankende Pflanzen. In beiden Fällen ist der wesentliche physiologische Vorgang derselbe. Der windende Stengel oder die Ranke wächst unter kreisenden Bewegungen der Spitze, indem also der ganze Pflanzenteil einen Kegelmantel beschreibt, so lange, bis die Spitze einen zum Stützpunkt geeigneten Gegenstand trifft, legt sich dann an diesen an und umschlingt oder umwächst ihn, indem die berührende Seite des Pflanzenteils weniger stark wächst als die abgewendete. Im weiteren Verlaufe treten noch folgende Komplikationen hinzu. Die windenden Stengel umschliefsen den Stützpunkt durch Verengerung der Schlingen fester, und die Ranken ziehen durch spiralige Zusammenrollung ihres freien Teiles die Pflanzen, an welchen sie sich befinden, näher an die Stütze heran und sorgen gleichzeitig durch ihre nun stark vermehrte Elasticität, dafs bei Wind die befestigte Pflanze nicht losgerissen wird. Man kann auch an andern empfindlichen Pflanzenteilen, welche sonst senkrecht wachsen, eine ähnliche Bewegung durch Berührung hervorbringen. „Wenn ein senkrecht gewachsener Fruchtträger von Phycomyces durch einen haarfeinen Glasfaden oder Platindraht berührt wird, den man, auf einem geeigneten Fufse befestigt, seitlich an den Pilzfaden so anlegt, dafs eben eine Berührung stattfindet, so macht der Fruchtträger nach der Seite hin, wo der Glasfaden anliegt, in wenigen Minuten eine starke Krümmung. Hört man mit der Berüh-

rung auf, so kann die Krümmung sich wieder ausgleichen, aber nur dann, wenn die gekrümmte Strecke noch wachstumsfähig ist" (Hansen, Pflanzenphysiologie, S. 263, 264). Um horizontale Stützen können sich windende Pflanzen nicht befestigen, denn die Stengelspitzen haben, da sie negativ geotrop sind, das Bestreben, nach oben zu wachsen.

Fig. 74.




Ranken der Zaunrübe (Bryonia) in verschiedenen Stadien der Entwickelung. *a* junge Ranke; *bb* ältere, nach einer Stütze suchende; *cc* zwei noch ältere Ranken, die sich gegenseitig umwunden haben (nach Kerner).

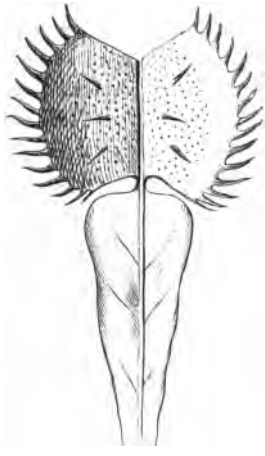
**Versuch 114.** Fig. 74. Erbsen, Bryonia, *Vitis vinifera*, Kürbispflanzen bieten geeignete Objekte zur Beobachtung der Bewegungen der Ranken. Man steckt ein Holzstäbchen senkrecht so in die Erde, dass eine Ranke einer der genannten Pflanzen seitlich davon berührt wird. Nach 24 Stunden ist der Erfolg dieser Berührung an der Ranke deutlich zu sehen.

**Versuch 115.** Man pflanzt im Kreise um eine Bohnenstange, am besten aber in verschiedenen Entfernungen von dieser, drei bis vier Feuerbohnen. Die Spitzen der Stengel machen kreisende Nutationsbewegungen, bis sie die Stütze, wenn diese nicht zu entfernt war, erreicht haben. An dieser winden sie sich gemeinsam empor.

**Versuch 116.** Eine im Topfe gezogene, an einem in die Erde desselben gesteckten Stabe emporgewundene Feuerbohne wird samt dem Topfe umgelegt. Die Spitze der Pflanze verläfst beim Weiterwachsen die Stütze und sucht, senkrecht emporstrebend, nach einer neuen.

§ 86. Chemische Reize (chemotaktische Bewegungen). Frei bewegliche Protoplasmakörper (Spermatozoiden der Moose und Farne,

Fig. 75.



Blatt von *Dionaea muscipula*, ausgebreitet (nach Kerner).

Fig. 76.

Blatt von *Drosera rotundifolia*; rechte Seite in gereiztem Zustande.

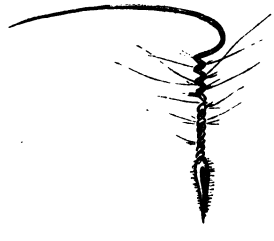
Plasmodien der Myxomyceten) reagieren auf bestimmte chemische Reize derartig, dafs sie die einen aufsuchen — wenn sie nicht zu stark sind —, die andern fliehen (Pfeffer 1884 und 1888). Die äufserst interessanten, aber erst im Anfangsstadium befindlichen Untersuchungen hierüber lassen schon jetzt eine Reihe bisher rätselhafter Erscheinungen, z. B. das Auffinden der Archegonien von Moosen und Farnen durch die zugehörigen Spermatozoiden, in neuem Lichte erscheinen, sind aber so subtiler Art, dafs sie nur von den geübtesten Forschern ausgeführt werden können (vergl. Hansen, Pflanzenphysiologie). Leichter sind einige der von Darwin an sogenannten fleischfressenden Pflanzen vorgenommenen Experimente nachzumachen, wenn man nur die nötigen Versuchsobjekte hat. Darwin zeigte z. B. am Sonnentau, *Drosera rotundifolia*, dafs die mit Drüsen besetzten Tentakeln des Blattes sich nur dann nach der Blattmitte zu krümmen, wenn verdauliche stickstoffhaltige Substanzen —

Fleisch, Käse, Eiweifs, kleine Insekten — mit den Drüsen in Berührung gebracht wurden; ferner, dafs die Blätter von *Dionaea muscipula* (Fig. 75, a. v. S.) sich zwar auf jeden Reiz, der auf eine der drei Borsten in der Mitte jeder Blatthälfte ausgeübt wird, schnell schliefsen, sich aber, wenn keine verdauliche stickstoffhaltige Substanz hierbei zwischen die Blatthälften eingeschlossen war, in kurzer Zeit wieder öffneten, ohne aus den die Blattfläche bedeckenden Drüsen den charakteristischen verdauenden Saft abzuscheiden, während bei stickstoffhaltiger Substanz die Blätter 8 bis 14 Tage, nämlich bis zur vollendeten Verdauung, geschlossen blieben. Da Dionaea ein Handelsobjekt geworden ist, so kann die höchst interessante Pflanze von jeder Schulanstalt leicht angeschafft werden; sie fordert feuchte Luft, wie Sonnentau.

**Versuch 117.** Fig. 76 (a. v. S.). Eine Anzahl Sonnentaupflanzen wird mit vollen Ballen aus dem Moorboden, in dem die Pflanze wächst, ausgehoben, in eine Schüssel gethan, mit einer Glasplatte überdeckt und vollem Sonnenlicht ausgesetzt. Hierauf bringt man verschiedene Substanzen auf die roten Drüsen der Randtentakeln, z. B. Holz, Zucker, Stärkekleister etc. Sie krümmen sich nicht. Auf die Drüsen anderer Blätter bringt man Fleischstückchen, eine kleine lebende Fliege etc. Die letzteren Drüsenhaare biegen sich nach innen, und ihnen folgen allmählich alle Tentakeln des Blattes nach.

§ 87. **Austrocknungsbewegungen.** Befestigt man einen Cigarrenkistendeckel, der 24 Stunden in Wasser gelegen hat, nachdem man ihn abgetrocknet hat, durch recht viele Nägelchen auf einem ebenso grofsen trockenen und legt das so erhaltene doppelwandige Brettchen an einen trockenen Ort, so wird beim Trocknen der nafs gewesene Deckel sich zusammenziehen und konkav werden, die trockene Wand konvex. Ähnlichen, nur vielfach etwas komplizierteren Vorkommnissen begegnen wir im Pflanzenreiche. Sie haben grofse physiologische Bedeutung. Hier öffnen sich durch dies Princip die Klappen von Staubbeuteln und lassen den Pollen austreten, dort springen Fruchtkapseln auf und lassen die Samen ausfallen oder schleudern sie sogar weit weg, dort werden Samen in die Erde gebohrt, dort schliefsen und öffnen sich Blüten.

Fig. 77.



Erodiumfrucht mit langem, durch ungleiches Austrocknen gedrehtem Schnabel (nach Detmer).

**Versuch 118.** Nahezu reife Balsaminenfrüchte (*Impatiens noli tangere*) werden in trockene und erwärmte Luft gebracht (in einiger Höhe über einer Gasflamme befestigt). Die äufseren Zellschichten der Früchte ziehen sich stärker zusammen als die inneren und die Samen werden ausgeschleudert.

**Versuch 119.** Fig. 77. Eine angefeuchtete Erodiumfrucht wird mit der Spitze in feuchten Sand gesteckt. Beim Austrocknen krümmt sich der Schnabel und dreht sich an seiner unteren Hälfte spiralig. Verhindert man dies dadurch, dafs man vor dem Ende des Schnabels ein Hölzchen senkrecht in den Sand steckt, so wird die Kraft auf den Samen übertragen, und dieser bohrt sich selbst in den Sand ein.

---

# X. Verhältnis der Pflanzen zu den Tieren.

§ 88. Pflanzen und Tiere bilden eine grofse Ernährungsgenossenschaft (Kerner, Pflanzenleben 1, 231). Nicht nur liefert der ganze tierische Ernährungsprozefs als Endresultat an die Atmosphäre Kohlensäure, welche als wichtiges Pflanzennahrungsmittel schon seit langer Zeit bekannt ist, während die Pflanzen im ganzen mehr Sauerstoff als Kohlensäure an die Atmosphäre abgeben, sondern es haben sich auch in neuerer Zeit vielfache andere Verknüpfungen der gemeinsamen Interessen herausgestellt. Wie die Flechten ein auf gemeinsame Interessen gegründetes Konsortium von Pilzen und Algen darstellen, wie Pappeln, Weiden, die meisten Cupuliferen und die Ericaceen durch Pilzmycele ihre Nahrungsaufnahme aus dem Boden bewirken und dafür an diese die Erzeugnisse ihrer chlorophyllhaltigen Zellen abgeben, so sind auch ähnliche Geschäftsverbindungen zwischen Tieren und Pflanzen mannigfach nachgewiesen. Keine Verbindung aber ist allgemeiner verbreitet und deshalb von gröfserer Bedeutung für das Pflanzenleben, als die mit den Insekten zum Zweck der Befruchtung der Blütenpflanzen und der Versorgung der genannten Tiere mit Nahrungsstoffen und andern Vorteilen. Die Blütenpflanzen bieten den Tieren teils eine Brutstätte für die Nachkommenschaft, teils einen zeitweiligen behaglichen Unterstand, wie namentlich die eine bedeutende Wärme entwickelnden Aroideenkolben, teils in ihrem Honig eine gesuchte Nahrung, alles als Gegenleistung für Übertragung von Pollen auf die Narben gleichartiger Blüten. Der Name des grofsen englischen Naturforschers Darwin wird mit diesen Beziehungen, wie mit so vielen bahnbrechenden Entdeckungen der modernen Naturforschung auf immer eng verknüpft bleiben.

**Versuch 120** (nach Schleichert 1891, S. 139). Anfang Juni werden noch nicht blühende Pflanzen von *Trifolium pratense* vorsichtig ausgegraben und in vier grofse Blumentöpfe eingesetzt. Zwei dieser Töpfe werden ohne weitere Vorkehrungen ins Freie an einen sonnigen Ort gestellt. Die beiden andern werden unmittelbar daneben auf eine grofse Holzplatte gestellt und hier mit einem durch engmaschige Gaze und ein Skelett von Holzstäben hergestellten, unten offenen Kasten überdeckt. Die Holzplatte verhindert das Aufkriechen der Insekten von

unten, der Gazekasten das Zufliegen derselben von oben. Hierauf werden alle vier Pflanzen genügend begossen, wobei darauf zu achten ist, dafs keine Insekten unter die Gazekästen gelangen. Ende Juli oder Anfang August ist das Resultat in der Samenlosigkeit der bedeckt gewesenen und der Anlage von Samen an den frei stehenden Exemplaren ersichtlich.

§ 89. Die chlorophyllführenden Pflanzen sind die Lieferanten organischer Nahrung für das Tierreich, teils direkt, bei den Pflanzenfressern, teils indirekt, bei den von diesen sich nährenden Raubtieren. Sie suchen sich gegen diese ihr Bestehen gefährdenden Angriffe auf verschiedene Weise zu wehren, indem sie entweder durch aufserordentliche Produktivität den Ausfall ersetzen, wie die schwachen, widerstandsunfähigen, aber durch ungeheure Vermehrung das Bestehen ihrer Arten sichernden Nager unter den Säugetieren, oder geeignete Waffen zur direkten Abwehr benutzen. Als solche fungieren teils mechanische Schutzmittel, namentlich Haare, Stacheln, mikroskopisch kleine Nadeln von oxalsaurem Kalk, sogenannte Raphiden, teils chemische, Säuren, Gerbstoffe, ätherische Öle, Bitterstoffe, teils gemischte, z. B. Brennhaare.

Zu den gefräfsigsten und vermehrungsfähigsten Tieren gehören die Schnecken, über deren Abwehr durch die Pflanzen namentlich Stahl[1]) höchst interessante Versuche angestellt hat, von denen folgende zwei leicht und mit sicherem Erfolge vorgenommen werden können.

**Versuch 121.** Blätter von *Tropaeolum majus*, die intensiv bitter schmecken, werden teils roh, teils in ausgelaugtem Zustande Weinbergsschnecken vorgelegt, welche man mehrere Tage ohne Futter in einem Glasgefäfse aufbewahrt hat. Um die Blätter vom Bitterstoff zu befreien, kocht man sie in einer Porzellanschale mit starkem Alkohol wiederholt aus, trocknet sie an der Sonne und wäscht sie nochmals mit Wasser aus. Die rohen Blätter werden unberührt gelassen, die ausgekochten gefressen. Ein ähnliches Resultat erhält man mit Blättern von *Ranunculus acer*.

**Versuch 122.** Recht stark behaarte Blätter von Symphytum oder andern Borragineen werden mit einem Rasiermesser möglichst von den Haaren befreit und hungrigen Weinbergsschnecken vorgelegt. Sie werden begierig von denselben gefressen, während nicht rasierte höchstens schwach angegriffen werden.

[1]) Stahl, Pflanzen und Schnecken. Jena 1888.

**Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.**

# Flora von Braunschweig.

Verzeichniss der in der weiteren Umgegend von Braunschweig wildwachsenden und häufig cultivirten Gefässpflanzen nebst Tabellen zum leichten und sichern Bestimmen derselben.

Bearbeitet von

**Wilhelm Bertram,**

Pastor zu St Catharinen.

Mit einem Anhange, enthaltend ein Verzeichniss der in den angrenzenden Gebieten wildwachsenden Pflanzen.

**Dritte,** durch einen Nachtrag vermehrte Ausgabe. 8. geh. Preis 3 ℳ.

# Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie

von **Dr. Leopold Dippel,**

ordentlichem Professor der Botanik in Darmstadt.

Mit 245 Holzstichen und 1 Tafel. gr. 8. geh. Preis 10 ℳ., geb. 11 ℳ.

# Die Pflanzenwelt

vor dem Erscheinen des Menschen vom

**Grafen G. von Saporta,**

correspondirendem Mitgliede der Akademie der Wissenschaften zu Paris.

Uebersetzt von **Carl Vogt.**

Mit 118 Holzstichen, 13 Tafeln, wovon 5 in Farbendruck. 8. geh. Preis 13 ℳ.

# Das Buch der Natur,

die Lehren der Physik, Astronomie, Chemie, Mineralogie, Geologie, Botanik, Zoologie und Physiologie umfassend.

Allen Freunden der Naturwissenschaft, insbesondere den Gymnasien, Realschulen und höheren Bürgerschulen gewidmet von

**Dr. Friedrich Schoedler,**

Director der Grossherzogl. Hessischen Realschule I. O. in Mainz.

Erster Theil: **Physik, Astronomie und Chemie.** Zweiundzwanzigste verbesserte Auflage mit dem Portrait des Verfassers. Mit 404 Holzstichen, einer Spectraltafel in Farbendruck, Sternkarten und einer Mondkarte. gr. 8. geh. Preis 4 ℳ. 80 ₰

Zweiter Theil: **Mineralogie, Geologie, Botanik, Zoologie und Physiologie.** Zweiundzwanzigste verbesserte Auflage. Mit 683 Holzstichen und einer geognostischen Tafel in Farbendruck. gr. 8. geh. Preis 4 ℳ. 80 ₰

# Lehrbuch der Botanik

für Gymnasien, Realgymnasien, Real- und Bürgerschulen, landwirthschaftliche Lehranstalten etc. sowie zum Selbstunterrichte von

Prof. Dr. **Otto Wilhelm Thomé,**

Rektor der Höheren Bürgerschule der Stadt Köln.

**Sechste verbesserte Auflage.** Mit 600 Holzstichen und 1 pflanzengeographischen Karte in Buntdruck. gr. 8. geh. Preis 3 ℳ.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

# Die Spermatozoiden im Pflanzenreich.

Ein Beitrag zur Kenntniss derselben von

**Dr. Hermann Schacht.**

Mit sechs Tafeln. gr. 8. geh. Preis 4 ℳ.

# Die Tropenwelt

**nebst Abhandlungen verwandten Inhaltes.**

Von

**Alfred R. Wallace,**

Verfasser des „Malayischen Archipels", der „geographischen Verbreitung der Thiere", der „Beiträge zur Lehre von der natürlichen Zuchtwahl" u. s. w.

**Autorisirte deutsche Uebersetzung von**

**David Brauns,**

Dr. phil. et med.

8. Fein Velinpapier. geh. Preis 7 ℳ.

# Ausländische Kulturpflanzen

in farbigen Wandtafeln mit erläuterndem Text, im Anschluſs an die „Repräsentanten einheimischer Pflanzenfamilien".

Herausgegeben von

**Hermann Zippel,**

ordentlichem Lehrer an der höheren Töchterschule zu Gera.

Zeichnungen von **Karl Bollmann** zu Gera.

Erste Abteilung. Mit einem Atlas, enthaltend 22 Tafeln mit 23 groſsen Pflanzenbildern und zahlreichen Abbildungen charakteristischer Pflanzenteile. Dritte, vielfach verbesserte und vermehrte Auflage. gr. 8. geh. Preis 15 ℳ.

Zweite Abteilung. Mit einem Atlas, enthaltend 12 Tafeln mit 29 groſsen Pflanzenbildern und zahlreichen Abbildungen charakteristischer Pflanzenteile. Zweite verbesserte u. vermehrte Auflage. gr. 8. geh. Preis 13 ℳ.

Dritte Abteilung. Mit einem Atlas, enthaltend 24 Tafeln mit 24 groſsen Pflanzenbildern und zahlreichen Abbildungen charakteristischer Pflanzenteile. gr. 8. geh. Preis 15 ℳ.

# Repräsentanten Einheimischer Pflanzenfamilien

in farbigen Wandtafeln mit erläuterndem Text, im Anschluſs an die „Ausländischen Kulturpflanzen" von

**Hermann Zippel,** ord. Lehrer a. d. höheren Töchterschule zu Gera, Herausgeber.

und

**Karl Bollmann,** Direktor seines lithogr. artist. Instituts zu Gera, Zeichner.

Erste Abteilung: ***Kryptogamen.*** Mit einem Atlas, enthaltend 12 Tafeln mit 59 groſsen Pflanzenbildern und zahlreichen Abbildungen charakteristischer Pflanzenteile. gr. 8. geh. Preis 14 ℳ.

Zweite Abteilung: ***Phanerogamen.*** 1. bis 4. Lieferung, je mit einem *Atlas von 12 Tafeln.* gr. 8. geh. Preis à Lieferung 14 ℳ.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Ausländische Handels- und Nährpflanzen

zur Belehrung für das Haus und zum Selbstunterrichte

herausgegeben von

**Hermann Zippel,**

ordentlichem Lehrer an der höheren Töchterschule zu Gera.

Mit über 300 Abbildungen auf 60 Tafeln in Farbendruck.

gr. 8. geh. Preis 8 ℳ., geb. 10 ℳ.

## Anleitung

zur Ausführung der wichtigsten Bestimmungen bei der

## Boden-Untersuchung,

zum Gebrauch im Laboratorium zusammengestellt

von **Dr. R. Frühling**

in Braunschweig.

Zugleich Ergänzungs-Heft zu der Anleitung zur Untersuchung der für die **Zucker-Industrie** in Betracht kommenden Rohmaterialien, Producte, Nebenproducte u. Hülfssubstanzen. Vierte Auflage.

Von Dr. R. Frühling und Dr. J. Schulz.

Mit 16 eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 1 ℳ. 80 ₰

In Leinen gebunden 2 ℳ. 40 ₰

## Anleitung zum Experimentiren

bei Vorlesungen über anorganische Chemie.

Zum Gebrauch an Universitäten und technischen Hochschulen, sowie beim Unterricht an höheren Lehranstalten von

**Dr. Karl Heumann,**

Professor am eidgenössischen Polytechnicum zu Zürich.

**Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.** Mit 322 eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 16 ℳ.

## Hülfsbuch

## zur Ausführung chemischer Arbeiten

für Chemiker, Pharmaceuten und Mediciner

von **Dr. Hugo Schwanert,**

ordentl. Professor der Chemie an der Universität zu Greifswald.

**Dritte umgearbeitete Auflage.** Mit 6 Holzstichen und einer farbigen Spectraltafel. gr. 8. geh. Preis 8 ℳ.

## Physikalisches Praktikum

mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Methoden von

**Eilhard Wiedemann** und **Hermann Ebert.**

**Zweite verbesserte und vermehrte Auflage.** Mit 280 Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 9 ℳ., in Leinen geb. 10 ℳ.

**Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.**

## Die Schule der Chemie,

oder erster Unterricht in der Chemie, versinnlicht durch einfache Experimente. Zum Schulgebrauch und zur Selbstbelehrung, insbesondere für angehende Apotheker, Landwirthe, Gewerbtreibende etc.

Von **Dr. J. A. Stöckhardt,**

Königl. Sächs. Geh. Hofrath, Professor der Chemie an der Königl. Akademie für Forst- und Landwirthe zu Tharand und K. S. Apothekenrevisor.

**Neunzehnte verbesserte Auflage.** Mit 219 Holzstichen und einer farbigen Tafel. 8. geh. Preis 7 ℳ.

## Die soziale Aufgabe der höheren Schulen.

Vortrag, gehalten in der Gehe-Stiftung zu Dresden am 7. Febr. 1891

von

**Dr. Otto Willmann,**

Professor der Philosophie und Pädagogik an der deutschen Universität in Prag.

8. geh. Preis 30 ₰

## Didaktik

als Bildungslehre nach ihren Beziehungen zur Socialforschung und zur Geschichte der Bildung dargestellt von

**Otto Willmann.**

Erster Band. **Einleitung. — Die geschichtlichen Typen des Bildungswesens.** gr. 8. geh. Preis 8 ℳ.

Zweiter Band. **Die Bildungszwecke. — Der Bildungsinhalt. — Die Bildungsarbeit. — Das Bildungswesen.** gr. 8. geh. Preis 10 ℳ.

## Die wichtigsten Lehren der Ackerbauchemie

zur Belehrung für die ländliche Jugend in Schule und Haus. In Fragen und Antworten zusammengestellt von

**Albert Harder.**

Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 75 ₰

## Dr. J. Frick's Physikalische Technik

speciell Anleitung zur Ausführung physikalischer Demonstrationen und zur Herstellung von physikalischen Demonstrations-Apparaten mit möglichst einfachen Mitteln.

**Sechste** umgearbeitete und vermehrte Auflage von

**Dr. Otto Lehmann,**

Professor der Physik an der technischen Hochschule zu Karlsruhe.

In zwei Bänden. gr. 8. geh.

**Erster Band.** Mit 708 eingedruckten Holzstichen. Preis 15 ℳ.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Wie die Feldfrüchte wachsen.

Ein

Lehrbuch für landwirthschaftliche Schulen und zum Selbstunterrichte

von **Samuel W. Johnson, M. A.,**

Professor der analytischen und Agriculturchemie an dem Yale College in New-Haven, Chemiker der landwirthschaftlichen Gesellschaft von Staat Connecticut etc.

Uebersetzt von **Hermann von Liebig.**

Mit Abbildungen und Analysentafeln. gr. 8. geh. Preis 7 ℳ. 50 ₰.

## Wie die Feldfrüchte sich nähren.

Ein Lehrbuch für Landwirthe, angehende Agriculturchemiker, landwirthschaftliche Schulen und zum Selbstunterrichte

von **Samuel W. Johnson, M. A.,**

Professor der analytischen und Agriculturchemie an dem Yale College in New-Haven, Chemiker der landwirthschaftlichen Gesellschaft von Staat Connecticut etc.

Uebersetzt und mit Anmerkungen versehen von **Hermann von Liebig.**

Mit Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 7 ℳ. 50 ₰

## Die Chemie

in ihrer Anwendung auf

## Agricultur und Physiologie.

Von **Justus von Liebig.**

**Neunte Auflage.** Im Auftrage des Verfassers herausgegeben von

**Dr. Ph. Zöller,**

K. K. Regierungsrath und ordentlicher Professor der Chemie an der K. K. Hochschule für Bodencultur zu Wien.

gr. 8. geh. Preis 16 ℳ. 60 ₰

## Naturkundliche Volksbücher.

Allen Freunden der Natur gewidmet von

**L. Busemann,**

Lehrer an der städtischen Volksschule in Emden.

**Zwei Bände. Zweite Ausgabe.** Mit 537 eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 10 ℳ.

## Dr. Joh. Müller's
## Grundriss der Physik und Meteorologie

für Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, sowie zum Selbstunterrichte bearbeitet von

**E. Reichert,**

Professor an der höheren Bürgerschule zu Freiburg im Breisgau.

**Dreizehnte vermehrte und verbesserte Auflage.**

Nebst einem Anhange:

**Physikalische Aufgaben und deren Auflösungen enthaltend.**

Mit 622 Holzstichen und 1 Spectraltafel in Farbendruck. gr. 8. geh. Preis 7 ℳ.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Dr. J. Frick's
**Anleitung zu physikalischen Versuchen**
**in der Volksschule,**
bearbeitet von
**F. X. Lehmann.**
**2. Auflage.** Mit 173 Holzstichen. 8. geh. Preis 2 ℳ. 20 ₰

**Einleitung in die praktische Physik**
von **W. Pscheidl,**
K. K. Professor am Staatsgymnasium in Teschen.
Mit 25 Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 1 ℳ. 20 ₰

**Die Geschichte der Physik**
in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften, sowie der allgemeinen Geschichte von
**Dr. Ferd. Rosenberger.**
Erster Theil. **Geschichte der Physik im Alterthum und im Mittelalter.** gr. 8. geh. Preis 3 ℳ. 60 ₰
Zweiter Theil. **Geschichte der Physik in der neueren Zeit.** gr. 8. geh. Preis 8 ℳ.
Dritter Theil. **Geschichte der Physik in den letzten hundert Jahren.** gr. 8. geh. Preis 16 ℳ. 90 ₰
(Drei Theile complet. Preis 28 ℳ. 50 ₰).

**Leitfaden der Physik und Chemie**
**mit Berücksichtigung der Mineralogie.**
Für die oberen Klassen von Bürgerschulen, höheren Töchterschulen und anderen höheren Lehranstalten in zwei Kursen
bearbeitet von
**A. Sattler,**
Schulinspektor.
**Zwölfte verbesserte Auflage.** Mit 236 Holzstichen. gr. 8. kart. Preis 80 ₰

**Kleine Naturlehre und Chemie**
mit Berücksichtigung der
**Mineralogie und der Lehre vom Menschen.**
Für einfache Schulverhältnisse bearbeitet von
**A. Sattler,**
Schulinspektor.
Mit 127 eingedruckten Holzstichen. gr. 8. kart. Preis 50 ₰

Manufactured by
GAYLORD BROS. Inc.
Syracuse, N. Y.
Stockton, Calif.

U.C. BERKELEY LIBRARIES
C026304122